

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Porovnání metody mikrotunelování a
metody říditelného vrtání v profilech do 400 mm**

**Comparison of Microtunnelling and Steerable Auger Boring for Profiles up to
400 mm**

Student:

Bc. Marek Skoblej

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Ostrava 2016

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Karlu Vojtasíkovi, CSc. za poskytnuté materiály, cenné rady a připomínky během tvorby této práce. V neposlední řadě patří velké poděkování také Ing. Karlu Franczykovi, Ph.D. za jeho čas, odborné vedení, poskytnuté kontakty a užitečné informace, nezbytné k vytvoření této práce.

Anotace

Předložená diplomová práce se zabývá problematikou bezvýkopových technologií, které v dnešní době nabývají stále více na významu. Jak již sám název napovídá, hlavní snahou je porovnat metodu mikrotunelování s metodou říditelného šnekového vrtání v profilech do 400 mm. Úvod práce se věnuje přehledu současného stavu, který v oblasti bezvýkopových technologií panuje. Po tomto přehledu je pozornost upřena na detailní popis obou porovnávaných metod. Následuje představení dvou již realizovaných projektů z praxe, které byly právě pro účely porovnání vybrány. Na závěr jsou všechny získané poznatky a skutečnosti dopodrobna rozebrány, je provedeno jejich vzájemné porovnání a analýza.

Klíčová slova

Bezvýkopová technologie, říditelné šnekové vrtání, mikrotunelování, trubní protlak

Annotation

The diploma thesis deals with trenchless technologies, which nowadays are becoming more and more important. As its name suggests, the main effort is to compare microtunnelling method with the method steerable auger boring for profiles up to 400 mm. The introduction discusses overview of trenchless technologies, which are currently used. After this overview, attention is focused on detailed description of both compared methods. Following the introduction of two projects realized in practice, which has just been selected for comparison purposes. Finally, every knowledge's and facts are closely analyzed is made their comparison and analysis.

Keywords

Trenchless technology, steerable auger boring, microtunnelling, pipe jacking

Obsah

1	ÚVOD.....	11
2	BEZVÝKOPOVÉ TECHNOLOGIE	13
2.1	Ekonomické hledisko	13
2.2	Průzkum geologického prostředí a jeho problémy	14
3	SOUČASNÝ STAV BEZVÝKOPOVÝCH TECHNOLOGIÍ.....	17
3.1	Neřízené metody bez obsluhy na čelbě.....	19
3.2	Řízené metody bez obsluhy na čelbě	20
4	ŘIDITELNÉ ŠNEKOVÉ VRTÁNÍ.....	24
4.1	Dvoufázový postup výstavby	24
4.2	Třífázový postup výstavby	27
5	MIKROTUNELOVÁNÍ.....	32
5.1	Mikrotunelování s hydraulickým odtěžením zeminy.....	33
5.1.1	Příprava staveniště a ražby	35
5.1.2	Pracovní režim stroje	36
5.1.3	Systém odtěžení	37
5.1.4	Řízení stroje	38
5.1.5	Tlačná stanice	40
5.1.6	Lubrikační jednotka	41
6	PROJEKT MIKROTUNELOVÁNÍ PRAHA – VINOŘ.....	42

6.1	Situování a popis díla	42
6.2	Geologické poměry	43
6.3	Hydrogeologické poměry	44
6.4	Stavebně technické řešení	45
6.4.1	Startovací a cílové šachty	45
6.4.2	Použité strojní vybavení.....	46
6.5	Průběh prací	47
6.6	Zhodnocení projektu	48
7	ŘIDITELNÉ ŠNEKOVÉ VRTÁNÍ NA ULICI FRYŠTÁTSKÉ – HAVÍŘOV	50
7.1	Situování a popis díla	50
7.2	Popis jednotlivých stok	51
7.3	Geologické a hydrogeologické poměry	52
7.4	Stavebně technické řešení	53
7.4.1	Startovací a cílové jámy	54
7.4.2	Použité strojní vybavení.....	54
7.5	Průběh prací	55
7.6	Zhodnocení projektu	56
8	POROVNÁNÍ MIKROTUNELOVÁNÍ S ŘIDITELNÝM ŠNEKOVÝM VRTÁNÍM	57

8.1	Prováděcí časy a denní postupy	57
8.2	Počet členů osádky	59
8.3	Použitá mechanizace	60
8.4	Maximální délky realizovaných úseků	61
8.5	Rozsah IG poměrů	65
8.6	Vlivy technologií na okolí.....	67
8.7	Rizika spojená s prováděním bezvýkopových prací	68
9	ZÁVĚR.....	72
10	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	74
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
12	SEZNAM TABULEK	79
13	SEZNAM ROVNIC	80
14	SEZNAM GRAFŮ	81

Seznam použitých zkratk a značení

BT	Bezvýkopové technologie
ČSN	Česká státní norma
ČSOV	Čistička odpadních vod
DN	Jmenovitý vnitřní průměr
ECT	Et cetera
G	Oporová síla proti vnikání rezného štítu do zeminy [kPa]
HPV	Hladina podzemní vody
IG	Inženýrsko geologické
IGP	Inženýrsko geologický průzkum
ISEKI	Společnost vyrábějící mikrotunelovací stroje
L	Délka protlaku [m]
M	Plášťové tření [kPa]
MTBM	Mikrotunelovací razicí štít
R	Oporová síla od plášťového tření [kN]
TCC	Telegraphic Cone Crusher
TCC – R	Telegraphic Cone Crusher - Rock
TS	Těžní šachta
ŽB	Železobeton
a	Parametr odvozený ze 191 projektů mikrotunelování s hydraulickým odtěžením [-]
d_a	Vnější průměr štítu [m]
d_{a1}	Vnější průměr protlačovací trouby [m]
l_{op}	Obvod pláště trouby [m]
p_0	Oporový tlak působící na štít [kPa]

1 Úvod

Podzemní sítě jsou pro města a obce nepostradatelnou součástí jejich technického vybavení. Bez nich si život v dnešní moderní době snad ani nedokážeme představit. Pod ulicemi měst a obcí jsou v České republice uloženy desetitisíce kilometrů potrubních vedení a kabelovodů. Spolu s tím, jak se v průběhu let rozrůstají města a městské aglomerace, je potřeba budovat novou městskou, dopravní či průmyslovou infrastrukturu. Taktéž nesmíme zapomínat na to, že stávající infrastruktura stárne a v mnohých případech je na hranici životnosti, ne-li už dávno za ní. Výstavba a obnova nových či provozovaných podzemních vedení je proto trvalou a nikdy nekončící činností, při níž hrají bezvýkopové technologie svou důležitou roli. [1], [2]

Ačkoli vývoj ve městech v posledních letech postupuje stále kupředu, situování inženýrských a kabelových sítí do sdružených kolektorů zůstává za očekáváním. Mnohé inženýrské sítě, ať už se jedná o vodovody, kanalizace či plynovody, jsou ve městech stále umísťovány do tras městských komunikací, pod zastavěná území apod. Při nutnosti rekonstrukcí či pokládce zcela nových sítí v tomto prostředí, je použití bezvýkopové technologie výstavby jednou z možností, často však jedinou. [1], [2]

Bezvýkopové technologie, jako jedno z odvětví stavitelství mají v moderní společnosti své nezastupitelné místo. Ne vždy tomu ale právě tak bylo. Vždyť ještě před rokem 1989 byla tato oblast v naší zemi neprávem zcela opomíjena. Převrat nastal právě po roce 1989, kdy se objevují první projekty postavené na bezvýkopové technologii výstavby. V současné době již na trhu existuje široká škála perfektně zvládnutých technologií bezvýkopové výstavby podzemních děl. [1], [3]

Předložená diplomová práce je zaměřena na porovnání metody mikrotunelování a metody říditelného šnekového vrtání v profilech do 400 mm. Hlavním cílem práce je porovnání těchto metod na základě již realizovaných projektů. Pro samotné porovnání byly vybrány oblasti týkající se denních postupů, použité mechanizace nebo např. vhodných IG poměrů pro danou technologii.

Celá práce je pomyslně strukturovaná do dvou částí. První část se věnuje přehledu současného stavu v oblasti bezvýkopové výstavby podzemních děl. Dopodrobna jsou zde

rovněž rozebrány hlavní principy obou porovnávaných technologií. Druhá část patří představení reálných projektů, které byly pro účely porovnání vybrány. Na základě těchto projektů je na závěr provedeno celkové srovnání, kde jsou také shrnuty výhody a nevýhody jednotlivých metod.

V úvodní části práce je pozornost upřena na přehled současného stavu bezvýkopových technologií (dále BT), kde lze nyní na trhu volit z mnoha existujících metod. S ohledem na porovnávané metody se pozornost věnuje pouze technologiím, jež jsou klasifikovány jako ty bez obsluhy na čelbě. Je zde rovněž rozebrána problematika IGP, který se s bezvýkopovými technologiemi neodmyslitelně pojí.

Následující kapitola se věnuje detailnímu popisu dvou stěžejních technologií této diplomové práce, a to metodě mikrotunelování spolu s metodou říditelného šnekového vrtání. V rámci detailního popisu fungování těchto metod je text doplněn rovněž názornými obrázky popř. fotografiemi, které podtrhují podrobný výklad.

Stěžejní náplní práce je popis dvou nedávno realizovaných projektů v oblasti bezvýkopových technologií, jež byly pro potřeby této diplomové práce vybrány. V rámci představení projektu mikrotunelování na Praze Vínohy a šnekového vrtání v Havířově je věnována pozornost zejména těm oblastem, které budou posléze rovněž předmětem porovnávání.

Poslední kapitola s názvem: Porovnání mikrotunelování s říditelným šnekovým vrtáním je pro celou práci zásadní, neboť obsahuje jak samotné porovnání obou metod, tak také širokou škálu informací, osobních poznatků a doporučení.

Na závěr jsou dosažené výsledky dopodrobna shrnuty, okomentovány a je provedena jejich vzájemná analýza a vyhodnocení.

2 Bezvýkopové technologie

Bezvýkopové technologie jsou již několik let trendem v oblasti pokládky a rekonstrukcí inženýrských sítí, kabelovodů apod. V průběhu poslední doby je zde jasně patrný celkový vývoj v této oblasti. Nelze však očekávat, že tyto technologie zcela nahradí tradiční metody výstavby, tedy realizaci v otevřených výkopech. Společným znakem bezvýkopových technologií je to, že jsou méně náročné na čas oproti konvenčním metodám. Jejich charakteristikou je žádný nebo minimální zásah do komunikací či stávající zástavby, spolu s rapidním snížením nepříznivého vlivu na okolí. Proto se uplatňují všude tam, kde není z jakéhokoliv důvodu možné realizovat otevřené výkopy. V centrech měst se stále více potýkáme s velkou hustotou dopravy, a proto právě zde jsou bezvýkopové technologie skvělým řešením, poněvadž během realizace odpadá nutnost přerušení dopravy na komunikacích a s tím související nutnost objížděk apod. Ne vždy se dá komunikacím zcela vyhnout a jakéhosi minimálního zásahu je potřeba. Avšak i v takovém případě jsou náklady na uvedení do původního stavu řádově nižší, než u klasických výkopů. BT jsou ideální hlavně pro městskou zástavbu, kde jsou již zmíněné problémy se zábory komunikací, stávající zástavbou či vstupy na soukromé pozemky. Nicméně stále častěji se využívají také pro stavby přivaděčů a přípojek mimo intravilán. [1], [2]

2.1 Ekonomické hledisko

V případě, kdy volba bezvýkopové technologie není jediným možným řešením dané situace, je potřeba zhodnotit adekvátnost jejího použití oproti konvenčnímu způsobu výstavby vyhodnocením následujících faktorů:

- dopad zvolené technologie na stávající objekty a život v dotčeném území
- prostorové možnosti pro umístění a obsluhu stavby v dané lokalitě
- technické možnosti uvažované technologie
- ekonomické posouzení
- environmentální posouzení
- posouzení bezpečnosti práce [1]

Ekonomická bilance záměru tvoří zcela samostatnou kapitolu a je často rozhodujícím kritériem při volbě technologie provádění. Pro klasickou pokládku inženýrských sítí jsou zemní práce nejdražší položkou z ceny za uložený metr, proto v některých případech vychází bezvýkopové technologie ekonomicky výhodněji. Při tvorbě cenové nabídky je však nutno brát na zřetel celou řadu faktorů. Je vhodné porovnat potřebu záborů ploch stavby na povrchu, existující prostor pro umístění objektu pod zemí, množství přemístěného materiálu, dobu výstavby a dopad na její okolí. V cenový prospěch BT hovoří následující situace:

- nákladná obnova dotčených povrchů
- omezený prostor na povrchu, špatná dopravní obslužnost staveniště
- vyšší hloubka uložení
- nevhodná geologie a hydrogeologie pro výkop
- vysoká hustota stávajících inženýrských sítí [1]

2.2 Průzkum geologického prostředí a jeho problémy

Inženýrské sítě jsou v intravilánech měst pokládány do malých hloubek pod povrchem, zpravidla několika metrů. S tím souvisí jisté specifikum, které se týká zejména centrálních částí starých historických měst. Tímto specifikem jsou geologické podmínky, které jsou v těchto malých hloubkách složité a značně proměnlivé. Můžeme zde narazit na zdivo starých budov, zbytky hradeb či neznámé suterénní prostory. Problémy mohou nastat také v souvislosti s velmi častými antropogenními navážkami, které v některých případech dosahují i více než 10 m. V těchto navážkách se objevuje celá řada promíchaných materiálů od zemin z výkopů, stavební suti, až po komunální odpad. Během realizace inženýrských sítí můžeme narazit na stará, zapomenutá podzemní vedení, zasypané studny, popřípadě základy starých historických objektů. Problém také často nastává v případě špatně zdokumentovaných stávajících vedení. Archeologické nálezy rovněž čas od času značně komplikují realizaci průzkumu, ale hlavně stavební činnost, což vede k časovým ztrátám a posunům termínů dokončení stavby. [2]

Geotechnický průzkum pro liniové stavby se v intravilánech měst potýká se značnými komplikacemi a omezeními. Jen zřídka je možno realizovat vrtný, resp. geofyzikální průzkum přímo v trase zamýšleného díla. To jednak z důvodu stávající zástavby, potřeby minimalizace

dopravních omezení na komunikacích i nebezpečí poškození nezadokumentovaného či chybně zakresleného podzemního vedení. Malou výhodou je, že se v centrech měst můžeme opřít o komplexní vyhodnocení výsledky geotechnických průzkumů, které byly zpracovány pro mnohé realizované projekty v našem zájmovém území. Některá z měst mají rovněž vytvořeny detailní mapy 1. a 2. podzemní úrovně, které průzkumné práce značně ulehčují. [2]

Průzkum pro bezvýkopovou výstavbu podzemních vedení by měl dodat co nejspolehlivější informace o:

- zeminovém resp. horninovém prostředí v trase výstavby, v jeho nadloží i podloží včetně pevnostních a přetvárných charakteristik
- hydrogeologických podmínkách v trase výstavby, tj. o hloubce naražené a ustálené hladiny podzemní vody, propustnosti horninového masivu, místech soustředěných výtoků atd.
- výskytu překážek na trase, jejich velikosti a charakteru
- hloubce a konstrukci základů a podzemních částí okolních budov
- přesné poloze provozovaných a neprovozovaných podzemních vedení

Znalost těchto údajů vede ke správnému výběru technologie, což je základním předpokladem pro ekonomickou výhodnost celého projektu. [2]

Geotechnický průzkum by měl v každé fázi projektu odpovídat jeho charakteru, popřípadě náročnosti inženýrsko-geologických podmínek v zájmovém území. Rozsah a náplň průzkumu si určuje každý projektant ve spolupráci s geotechnikem. V odborné literatuře se hovoří o nutnosti znalosti výsledků geotechnického průzkumu ještě před samotným započítáním prací na projektu resp. vlastní realizací. Osobní zkušenost autora této práce je však značně odlišná. Společnosti, které v dnešní době realizují jednotlivé projekty, se z logiky věci snaží snížit cenu co možná nejnižší. Jedním z mála míst, kde se dá ušetřit je právě geotechnický průzkum. Z toho vyplývá, že zhruba 50% všech dnes realizovaných projektů v oblasti bezvýkopových technologií se musí bez tohoto průzkumu zcela obejít. V takových případech se vychází pouze z archivních materiálů, či osobní zkušenosti projektanta, který na sebe přebírá značný díl zodpovědnosti. Ověření skutečné geologické stavby podloží v dané lokalitě probíhá až během samotné realizace projektu, při hloubení startovacích a cílových šachet. [2]

V souvislosti s podceněním významu geotechnického průzkumu, a tím spojené relativní úspory prostředků, vznikají na stavbách problémy, které dále generují zvýšené stavební náklady spolu s prodlužováním doby výstavby. Po ukončení stavby by měla každá firma uskutečnit jakousi zpětnou analýzu v souvislosti s provedeným či neprovedeným geotechnickým průzkumem a aplikací jeho výsledků při projektování a vlastní výstavbě. Toto by mělo vést v budoucnu k lépe definovaným požadavkům na průzkum, s čímž souvisí lépe vynaložené finanční prostředky. Existuje totiž velice tenká hranice mezi tím, kdy navržený rozsah průzkumných prací je příliš velký, a tím i nevhodný, a naopak. [2]

3 Současný stav bezvýkopových technologií

Během zpracovávání této práce se autor setkal s problémem, který na našem trhu panuje prakticky již od dob zavádění bezvýkopových technologií po roce 1989. Tímto problémem je nejasnost, či nejednoznačnost v terminologii, pojmech a klasifikaci, týkajících se BT jako takových. Proto než začne být řeč o klasifikaci a dělení těchto metod, rád bych představil nejrozšířenější omyly a nedorozumění v pojmech:

- mikrotunelování **není** obecný název pro bezvýkopové technologie
- mikrotunelování **není** jakoukoliv říditelnou bezvýkopovou technologií [3]

Jednou z příčin tohoto chaosu v pojmech a klasifikaci je bezesporu živelnost, se kterou se bezvýkopové technologie začaly na našem území po roce 89 rozvíjet. Domácí firmy, které až do této doby neměly zkušenosti s tímto odvětvím, začaly masivně investovat do nákupu bezvýkopové techniky. A právě již v této době jsou zakořeněny časté omyly a chyby v terminologii a klasifikaci. Jako příklad může sloužit rozpor, který panuje v klasifikaci bezvýkopových technologií dle ČSN EN 12 889/2001 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení a mezi Slovníkem pojmů ve výstavbě (Raclavský, J., et al, 2004) vydaným Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků. V tomto slovníku se za mikrotunelování považuje souhrn všech používaných metod výstavby podzemních neprůlezných děl, pro jejichž výstavbu je použito dálkově ovládaných strojních zařízení bez přístupu obsluhy na čelbu. Mikrotunelování se zde dělí na metody řízeného a neřízeného mikrotunelování. [2] [3]

Pro metody řízeného mikrotunelování se využívá souprav s dálkovým ovládáním, jež umožňují pokládku podzemních vedení v požadované trase. V případě výškových a směrových odchylek je stroj schopen tyto odchylky do jisté míry vyrovnat. Slovník pojmů ve výstavbě [4] dělí řízené metody mikrotunelování podle principu, na kterém jsou založeny:

- vrtání s vodícím (pilotním) vrtem
- vrtání na plný průřez
- mikrotunelování s použitím štítů
- vrtání s použitím vysokotlaké kapaliny [4]

V případě neřízených metod mikrotunelování uvádí [4] následující dělení:

- propichování
- vodorovné beranění
- vodorovné vrtání
- vrtání s použitím vysokotlaké kapaliny

Předchozí výčet a dělení mikrotunelování je zde uvedeno pouze pro ilustraci. Předložená diplomová práce používá dělení na základě ČSN EN 12 889/2001 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení. Toto dělení je patrné z Grafu 1, z něhož vyplývá, že za mikrotunelování je považována pouze jednostupňová metoda zatlačování potrubí s dálkovým řízením. Toto řízení je přitom realizováno ze stanoviště mimo potrubí, jež je ukládáno bezprostředně za mikrotunelovacím strojem. [2]

Rozdělení bezvýkopových metod dle ČSN EN 12 889

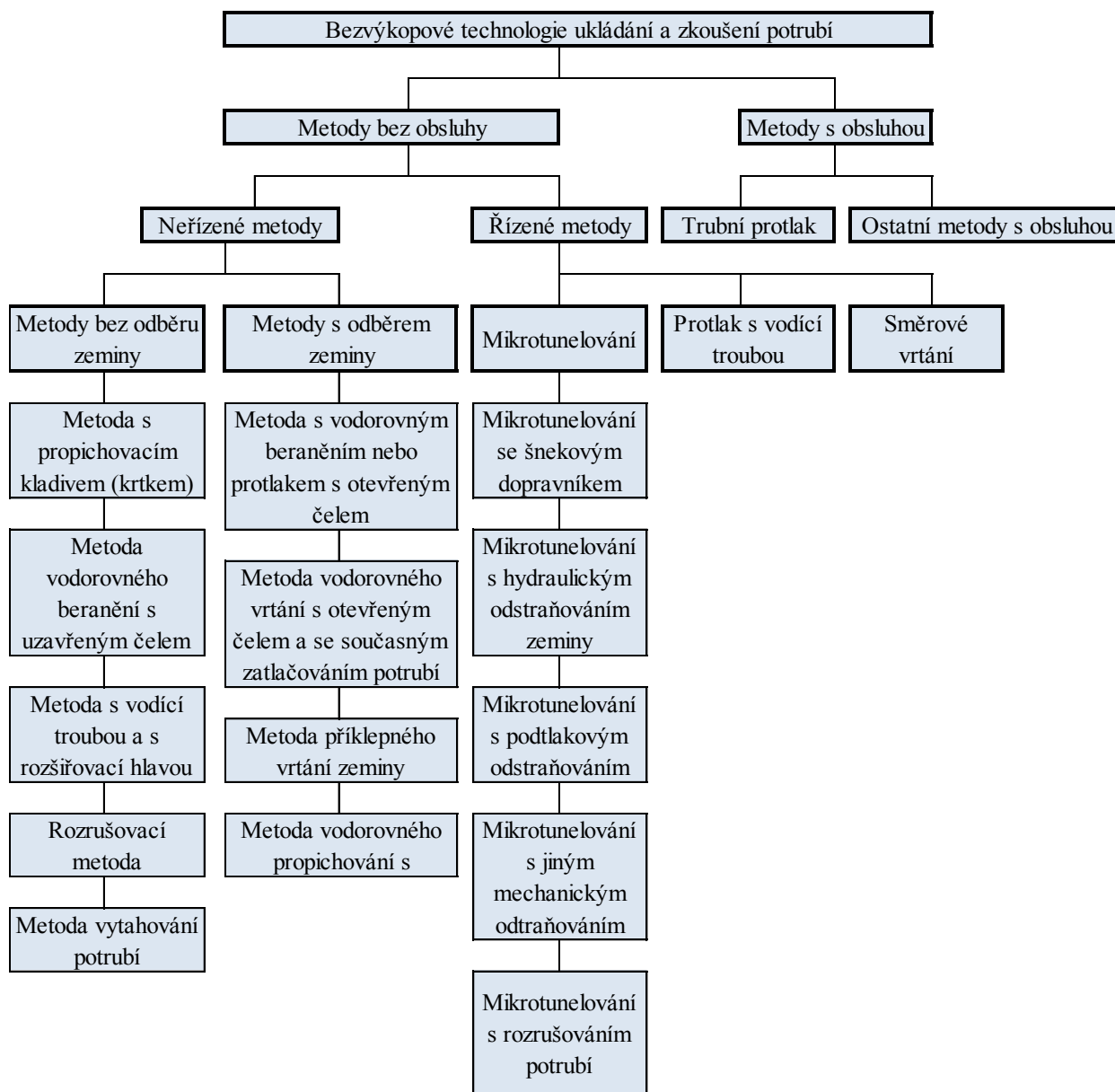
Na základě normy ČSN EN 12 889 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení se bezvýkopové technologie dělí na metody s obsluhou a metody bez obsluhy na čelbě. [2]

Další z dělení vychází z možnosti kontroly a úpravy výškových a směrových odchylek v průběhu provádění. Norma tyto metody klasifikuje jako:

- metody neřízené – při nichž není možnost korekce směru během realizace
- metody řízené – při nichž existuje možnost korekce směru na základě používání sofistikovaných souprav s dálkovým ovládáním [2]

V souvislosti s klasifikací BT existuje celá škála dalších hledisek, podle kterých lze tyto technologie dělit, ať už se jedná o odběr zeminy, profil trasy nebo pracovní princip.

Následující kapitoly jsou věnovány stručnému přehledu nejvýznamnějších metod uplatňujících se v oblasti bezvýkopových technologií za posledních 20 let. Prostor je však věnován pouze metodám, jež jsou klasifikovány jako ty bez obsluhy na čelbě.



Graf 1 Rozdělení bezvýkopových metod dle ČSN EN 12 889/2001 [2]

3.1 Neřízené metody bez obsluhy na čelbě

Tab. 1 znázorňuje stručný přehled neřízených metod bez obsluhy na čelbě dle ČSN EN 12 889. Tyto metody se dále dělí dle odběru zeminy na metody bez odběru, popřípadě metody s odběrem zeminy. U neřízených metod bývají často problémy s dodržením přesnosti ve směru vedení, což ovlivňují zejména vlastnosti horninového prostředí, nejvíce pak vrstevnatost a zrnitostní změny jednotlivých frakcí. Celková délka protlaku také z velké míry

zapříčiňuje výsledné směrové a výškové nepřesnosti. Právě z těchto důvodů jsou neřízené metody používány zejména na pokládku podzemních vedení, jež nevyžadují směrovou přesnost. [2]

	Metoda
Bez odběru zeminy	s propichovacím kladivem (krtkem)
	vodorovné beranění s uzavřeným čelem (hrotem)
	vodorovně zatlačovaná vodící trouba s roztlačovací hlavou
S odběrem zeminy	vodorovné beranění nebo protlak s otevřeným čelem
	vodorovné vrtání se současným zatlačováním potrubí
	příklepné vrtání
	vodorovné propichování s rozšiřovací hlavou

Tab. 1 Přehled neřízených metod bez obsluhy na čelbě [2]

Neřízené metody mají své uplatnění při instalaci trub neprůlezných a průlezných profilů na vzdálenost až několika desítek metrů, kdy maximální délka protlaku je výrazně ovlivněna předem stanovenými výškovými a směrovými odchylkami. V rámci neřízených metod jsou nejvíce používány ocelové trouby s výjimkou pneumatického propichování, při němž se uplatňují výhradně trouby plastové. [2]

Soupravy pro neřízené bezvýkopové technologie jsou konstrukčně jednoduché, s čímž souvisí také nízké náklady na pořízení takovéhoho stroje. Jejich obsluha je nenáročná, stejně jako jejich doprava. Proto mohou být ve velice krátkém čase demontovány a převezeny na jinou stavbu, kde jsou opětovně smontovány. Tyto stojní zařízení byly vyvinuty speciálně pro výstavbu krátkých úseků trubních a kabelových vedení. Používají se zejména pod silničními a železničními komunikacemi, ale také při výstavbě domovních a kabelových vedení. Největší opodstatnění mají tyto metody v homogenním prostředí bez výskytu překážek. V prostředí skalních hornin jsou zcela nepoužitelné. [2]

3.2 Řízené metody bez obsluhy na čelbě

S tím, jak byly v průběhu let poznány maximální hranice použitelnosti neřízených metod, bylo zapotřebí přijít na způsob, jak tyto metody vylepšit popř. inovovat co do délky použití, tak i přesnosti směrového vedení. Právě proto se od 70. let minulého století začínají

rozvíjet metody řízené. První řízené mikrotunelovací soupravy se objevují v polovině 70. let v Japonsku, jež se stává průkopníkem v oblasti řízených bezvýkopových technologií. O pár let později se vývoj rozbíhá také v Evropě, přesněji v Německu. V obou zmíněných státech je pozornost upřena zejména na oblast výstavby kanalizací. [2]

Hlavní charakteristikou řízených bezvýkopových metod je možnost úpravy směru popř. sklonu během zatlačování nebo zatahování podzemního vedení. Řízené metody nachází uplatnění během realizací dlouhých úseků nebo úseků, při jejichž realizaci je nutno přesně dodržet projektovaný spád, jako tomu často bývá například u kanalizačních potrubí. [2]

Dělení řízených metod bez obsluhy na čelbě

Dle pracovního principu lze řízené metody rozdělit na metody s roztlačováním zeminy a na metody s odběrem zeminy. Mezi ty s roztlačováním zeminy patří:

- metoda s řízeným propichovacím kladivem
- metoda vodorovného vrtání s nárazovým kladivem
- metoda pilotního vrtu s roztlačováním zeminy [2]

K metodám s odběrem zeminy řadíme:

- protlak s vodící troubou (vrtání s vodícím resp. pilotním vrtem)
- mikrotunelování
- směrové vrtání [2]

Způsoby řízení

U říditelných metod mikrotunelování nebo trubního protlaku kopíruje celý řetězec potrubí vrtnou hlavu popř. jiný pilotní nástroj. Z toho plyne důležitost správného řízení, neboť všechny odchylky od požadovaného směru, které vzniknou během vrtání, propichování či protlačování se rovněž promítnou do výsledné trasy realizovaného vedení. Tyto odchylky od původního trasování mohou v budoucnu generovat problémy resp. poruchy. To se týká zejména kanalizačních sběračů, u kterých má řízený protlak či mikrotunelování zajistit zejména dodržení požadovaného spádu. Avšak ani říditelné metody nejsou zcela přesné a k menším nepřesnost dochází a bude docházet prakticky vždy. Tabulka 2 uvádí přehled

dovolených horizontálních a vertikálních odchylek resp. tolerancí v závislosti na průměru realizovaného vedení. Tyto hodnoty jsou však pouze orientační, poněvadž maximální dovolené odchylky v obou směrech jsou vždy uvedeny v projektové dokumentaci díla. [2], [6]

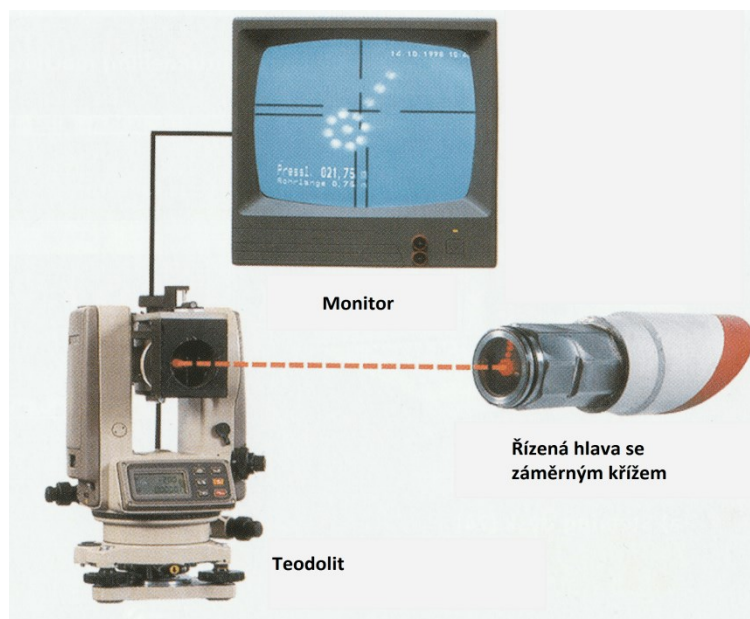
DN	Vetikální odchylka [mm]	Horizontální odchylka [mm]
< 600	± 20	± 25
≥ 600 < 1000	± 25	± 40
≥ 1000 < 1400	± 30	± 100
≥ 1400	± 50	± 200

Tab. 2 Maximální vertikální a horizontální odchylky [6]

V případě řízených metod se na stavbě neobejdeme bez zařízení pro správné vytyčení trasy a nastavení čela potrubí, ale taktéž bez strojního vybavení, které nám umožní korigovat směr. Pro správné vytyčení trasy se využívají následující technologie:

- optická a laserová měřicí zařízení
- gyroskopy
- hadicové vodováhy
- inklinometry
- přístroje pro měření vzdálenosti
- satelitní navigace [2]

Optické teodolity, směrové lasery a totální stanice jsou v praxi nejpoužívanější zařízení pro měření vertikálních a horizontálních odchylek. Měření probíhá pomocí laserového paprsku, který směřuje na cílový terč v zadní části vrtné hlavy popř. štítu, viz Obr. 1. Tento paprsek vychází z laserového přístroje, pečlivě usazeného ve startovací jámě. Trasa paprsku může vést buď horní částí protlačovaných trub, dutou částí pilotního vrtu, nebo případně dutou hřídelí šnekového vynašeče. Během realizace je potřeba věnovat velkou pozornost případným deformacím spolu s vibracemi, jež mohou výrazně ovlivnit výsledky měření a tím i celkovou přesnost realizovaného díla. Detailněji bude princip řízení rozebrán v následujících kapitolách Řiditelné šnekové vrtání a Mikrotunelování. [2], [6]



Obr. 1 Prvky měřící a řídicí techniky trubního protlaku [6]

4 Řiditelné šnekové vrtání

Technologii říditelného šnekového vrtání můžeme též označovat jako protlak s vodící troubou, při kterém je zemina odtěžována šnekovým dopravníkem. Pojem vodící trouba se v praxi uplatňuje v menší míře, zažitější je výraz vodící resp. pilotní vrt. Soupravy pro říditelné šnekové vrtání pracují na principu horizontálního odvrtávání tunelu v zemině a následném transportu této odvrtané zeminy do prostoru startovací jámy. Nejčastěji je řízené šnekové vrtání používáno pro bezvýkopové pokládky ocelových chrániček, nebo kameninových a sklolaminátových kanalizačních trub. Na základě individuálního zhodnocení každého projektu můžeme zvolit:

- dvoufázový postup výstavby
- třífázový postup výstavby [2], [7]

4.1 Dvoufázový postup výstavby

Jedná o vícestupňovou metodu realizace, kdy je v první fázi proveden přesně naváděný pilotní vrt, jenž je následně rozšířen speciální rozšiřovací hlavou se současným vytěžením zeminy šnekovým dopravníkem. Šnekový dopravník je situován v potrubí, které je zatlačováno současně s rozšiřováním daného vrtu. V případě dvoufázového postupu výstavby se nejčastěji protlačí ocelové chráničky, které později slouží k uložení kabelovodů popř. jiných inženýrských sítí. [2]

Způsob realizace

Po přesném vytýčení trasy je zapotřebí ustavit a pečlivě stabilizovat protláčecí stroj ve startovací jámě. Následně je zrealizován přesně naváděný pilotní vrt, jehož průpich je stěžejní operací v rámci celého procesu realizace díla. Pilotní vrtný nástroj tzv. vrtná hlava je předmět válcového tvaru s klínovou čelní plochou (Obr. 2). Průměry vrtné hlavy se mohou lišit v závislosti na zvoleném výrobcí. Díky klínovému tvaru čelní plochy vrtného nástroje je možno provádět korekce jak směrových, tak i výškových odchylek. Děje se tak pomocí vytočení hlavy v námi požadovaném směru. Pilotní nástroj je dutý, přičemž v jeho nitru je uložen laser, vysílající paprsek dutými vrtnými tyčemi (Obr. 3). Kontrola směru se provádí optickým měřicím zařízením (teodolitem), který promítá laserový paprsek z vrtného nástroje

do záměrného kříže. Výsledný obraz je promítán na monitoru, umístěném ve startovací jámě. Na základě informací z monitoru provádí obsluha stroje potřebné korekce směru vrtné hlavy. [8]

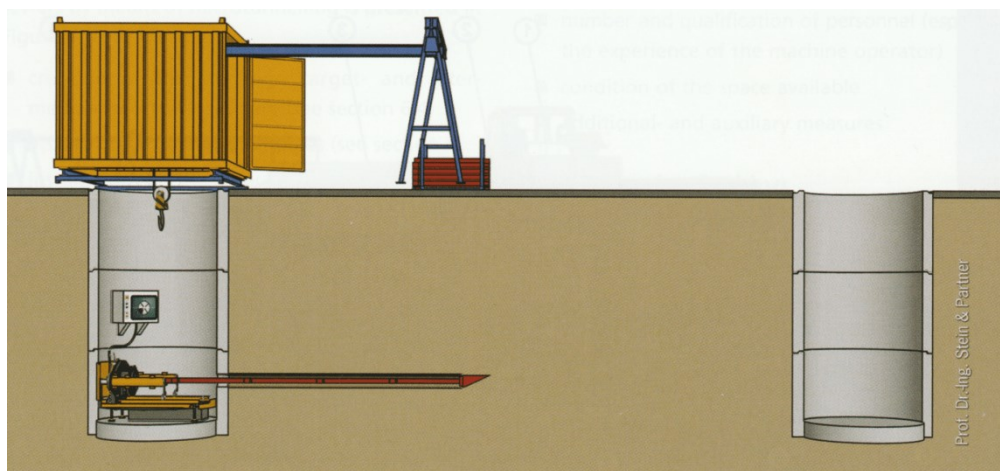


Obr. 2 Detail řiditelné vrtné hlavy



Obr. 3 Detail vrtných tyčí, zdroj: autor

Realizace pilotního vrtu spočívá v postupném vtlačování vrtné hlavy do horninového prostředí za současného nastavování vrtných tyčí. V případě pilotního vrtu je zemina pomocí vrtné hlavy pouze roztlačována do stran, nedochází tedy k jakémukoliv výnosu vrtného jádra. Obr. 4 ilustruje realizaci pilotního vrtu za použití principu optického navádění.



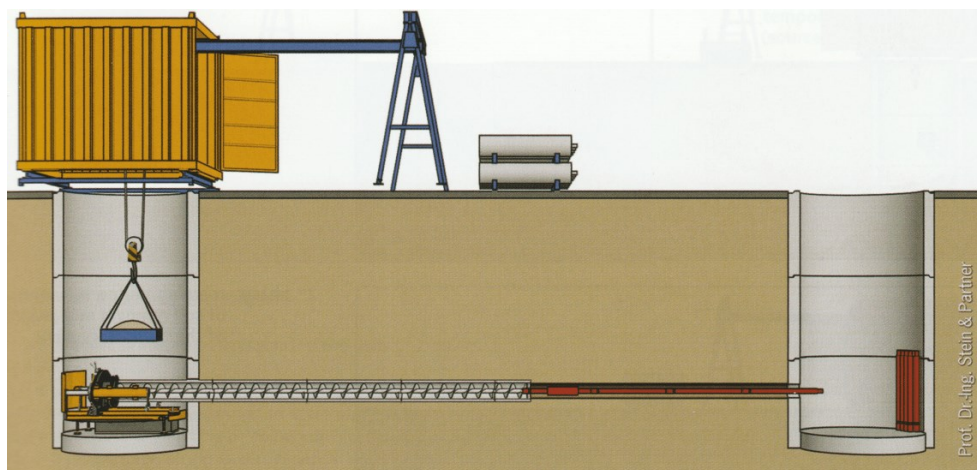
Obr. 4 Realizace pilotního vrtu [6]

Dosáhne-li vrtná hlava pilotního vrtu cílové jámy je protlačování přerušeno. Na konec pilotního soutyčí je ve startovací šachtě osazena rozšiřovací hlava, s jejíž pomocí se pilotní vrt provrtá do požadovaných rozměrů. V této fázi již nemá obsluha soupravy možnost korekce

směru protlačovaných trub, proto v tento moment hovoříme o neřiditelném protlačování. Rozšiřovací hlava (Obr. 5) je vedena pouze směrem pilotního vrtu s tím, že protlačované trouby jsou s touto hlavou pevně spojeny. Odtěžení zeminy do startovací jámy probíhá šnekovým dopravníkem, který vede spolu se svojí ocelovou troubou uvnitř protláčeného potrubí. Spolu s tím, jak se z prostoru startovací jámy zatlačují jednotlivé trouby, probíhá v cílové jámě postupné rozebírání soutyčí pilotního vrtu (Obr. 6). V poslední fázi realizace protlaku je z prostoru potrubí nutné vytlačit šnekové vynašeče. [6]



Obr. 5 Detail rozšiřovací hlavy vrtu, zdroj: autor



Obr. 6 Rozšiřování pilotního vrtu se současným zatlačováním potrubí [6]

4.2 Třífázový postup výstavby

Třífázové protlačování spolu s mikrotunelováním je v současné době nejpoužívanější technologií v oblasti bezvýkopové pokládky kanalizačního potrubí. Šnekové vrtné soupravy pracují na principu odvrtání tunelu v zemině a následném transportu této zeminy zpět do prostoru startovací jámy. Takto vzniklý tunel je dočasně zapažen ocelovými pažnicemi. Právě v těchto pažnicích je umístěn šnekový vynašeč, jenž zajišťuje transport vyvrtané zeminy. Hlavní rozdíl oproti dvoufázovému principu tkví v tom, že v okamžiku, kdy vrt dosáhne cílové jámy, jsou již zmíněné ocelové chráničky vytlačeny troubami, obvykle z kameniny či sklolaminátu. Ocelové pažnice jsou zpravidla stejného vnějšího průměru jako protlačované trouby. Díky tomu je omezeno nebezpečí vzniku kaveren, nebo případných nadvýlomů, poněvadž je vzniklý tunel po celou dobu výstavby chráněn proti sesouvání zeminy. [8]

Postup výstavby

Stejně jako v předchozím případě je i zde nejdůležitějším úkonem pečlivé ustavení stroje spolu s vytyčením přesného směru pokládky budoucího vedení. Následné provedení pilotního vrtu se nijak neliší od předchozího případu. V souvislosti s pilotním vrtem je však potřeba zmínit, že se jeho realizace v posledních letech do značné míry vylepšila, resp. zpřesnila. Hlavním důvodem je aplikace tzv. duálních tyčí. Jedná se o dvojité tyče, kdy vnitřní tyč pouze rotuje, čímž zabezpečuje potřebný směr, zatímco vnější tyč slouží k zatlačení celého soutyčí. V rámci výše popsání způsobu nedochází k postupnému rozšiřování vrtu rotující vrtnou tyčí. Duální tyče byly vyvinuty pro přesnější realizaci pilotního vrtu spolu se snížením potřebné energie na jeho provedení. Během rotace vrtné hlavy je při stejném výkonu dosahováno mnohem větších vzdáleností. Tyče jsou rozebíratelné, čehož je v praxi také velmi často využíváno. Pro kratší pilotní vrty do dvaceti metrů se používá pouze vnitřních vrtných tyčí spolu s odlišnou vrtnou hlavou. Na Obr. 7 je vlevo vyobrazena vrtná hlava pro použití duálních vrtných tyčí, vpravo hlava jednodušší, pro použití do 20 m. [8]



Obr. 7 Vrtné hlavy v závislosti na použitých vrtných tyčích zdroj: autor

Pro ilustraci je dobré uvést, že konstrukce strojů umožňuje také realizaci protlaků bez pilotního vrtu. Děje se tak pouze na krátké vzdálenosti, při realizaci potrubí, které nevyžaduje vysokou přesnost uložení. V tomto případě je na cíl nasměrováno protlačované potrubí, většinou tedy ocelová chránička, která je do zeminy zatlačována spolu se současným šnekovým odtěžením. Jelikož z výše popsaného vyplývá nemožnost říditelnosti potrubí v době protlačení, hovoříme o neřízeném protlačování. V dnešní době je však ve většině případů požadována vysoká přesnost pokládky, proto je tato metoda využívána stále méně. [8]

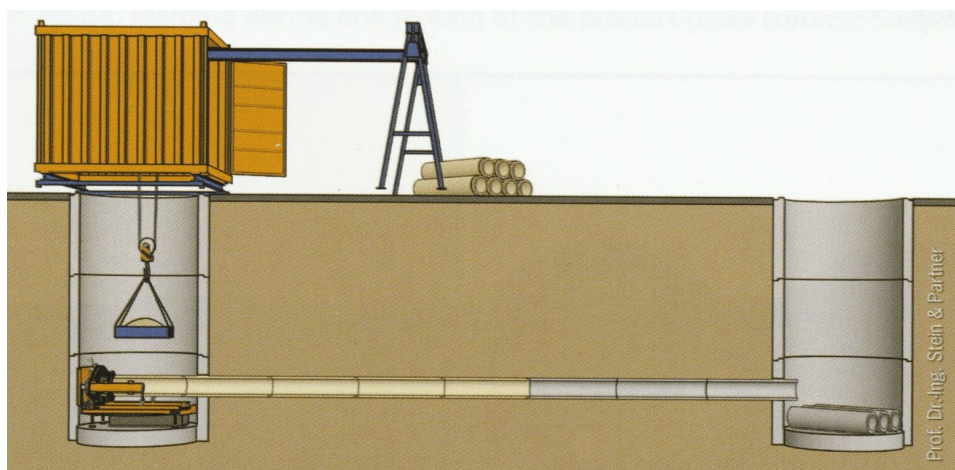
Vraťme se ale k třífázovému postupu výstavby. Po přesném provedení pilotního vrtu je konec soutyčí opět osazen speciální rozšiřovací hlavou (Obr. 5). Za touto hlavou následuje kolona ocelových chrániček, ve kterých je umístěn šnekový vynašeč pro odtěžení zeminy. Pro kratší úseky se zemina těží volně do prostoru startovací jámy. V případě delších úseků se využívá speciální těžní nádoby umístěné ve startovací jámě tak, aby se zemina ze šnekového vynašeče akumulovala rovnou do této nádoby. Protlačování chrániček probíhá cyklicky, a to nejen z nutnosti vyprazdňování těžní nádoby, ale také díky samotnému nastavování protláčeného potrubí.

Ocelové chráničky resp. pažnice (Obr. 8) jsou postupně spouštěny do prostoru startovací jámy, kde je obsluha stroje následně spojuje s předešlými pažnicemi. Šneky se spojují šestihrannou spojkou, zatímco pažnice mají spoj řešený tak, aby jeden kus zapadal do druhého. Pro dosažení dostatečně tuhého spojení je spoj pažnic doplněn čepy. Celé toto řešení zajišťuje přesnost prováděného tunelu. [8]



Obr. 8 Ocelové pažnice se šnekovým vynašečem zdroj: autor

Rozdíl oproti druhé fázi nastává ve chvíli, kdy rozšiřovací hlava dosáhne cílové šachty. Jelikož výše zmíněné ocelové chráničky slouží pouze k dočasnému zapažení vyvrtaného tunelu, je zapotřebí je nahradit konečným potrubím. Děje se tak právě ve třetí fázi realizace (Obr. 9), kdy jsou ocelové pažnice vytlačovány tlačnými troubami, obvykle z kameniny nebo sklolaminátu. [8]



Obr. 9 Třetí fáze realizace protlaku [6]

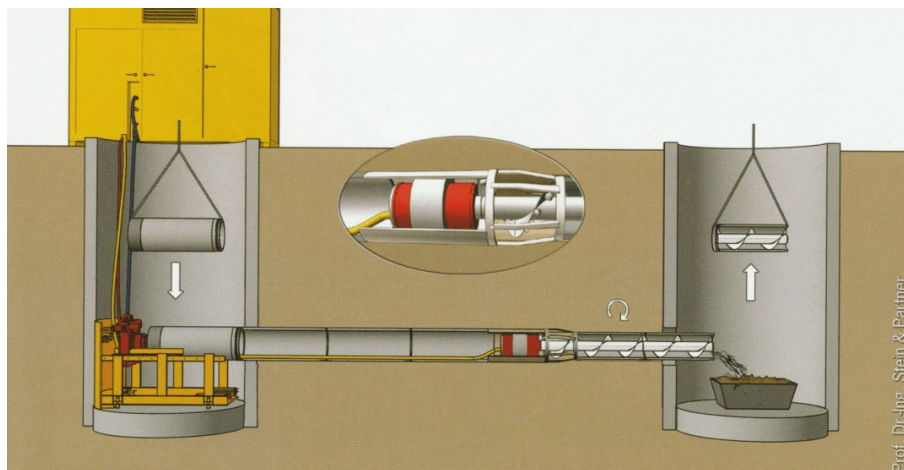
Nenastane-li během zatlačování konečného potrubí žádný větší problém, je tato fáze realizace časově nejméně náročná v porovnání s ostatními. Do startovací šachty je postupně spouštěno trubní vedení, jež je obsluhou nastavováno na potrubí předešlé a postupně zatlačeno (Obr. 10). V cílové jámě obsluha ve spojích demontuje ocelové pažnice se šneky.

Ty jsou následně pomocí jeřábu vytaženy na povrch, kde jsou očištěny a uloženy zpět do speciálních stojanů. Po zatlačení celé délky potrubí jsou práce spojené s protlakem téměř u konce, zbývá už jen vytažení protlačecího stroje ze startovací jámy.



Obr. 10 Protlačování kameninových trub zdroj: autor

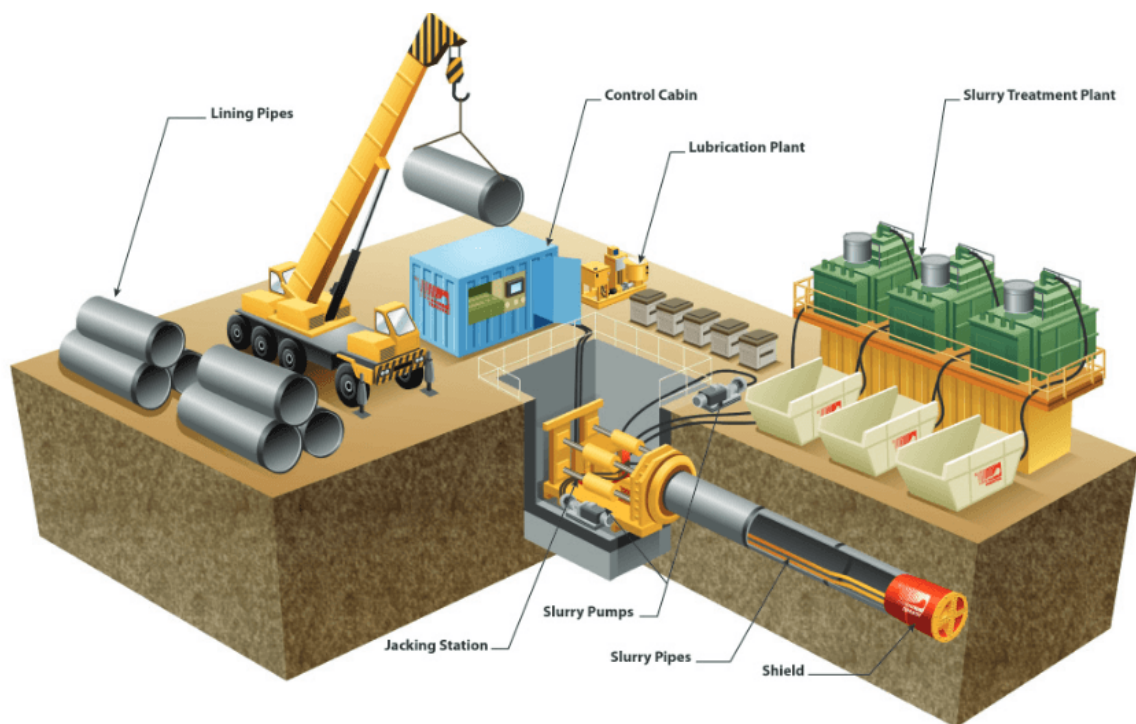
Nutno podotknout, že výše popsaná technologie trojfázového protlaku není jedinou. V praxi se používá celá řada různých modifikací. Zmínit můžeme například tu, kdy se před kolonu definitivního potrubí osadí speciální rozšiřovací hlava. Ta se konstrukčně liší od hlavy na Obr. 10. Vyvrtaný tunel, jenž je zapažen ocelovými chráničkami, je dále rozšiřován spolu s tím, jak se protlačuje definitivní potrubí (Obr. 11). Odtěžení rozrušené zeminy probíhá šnekovým dopravníkem do prostoru cílové jámy. Současně s naplňováním, resp. vyprazdňováním těžní nádoby, probíhá na stejném místě rovněž demontáž vytlačených ocelových chrániček.



Obr. 11 Rozšiřování tunelu spolu se zatlačováním definitivního potrubí [6]

5 Mikrotunelování

Dle ČSN EN 12 889 je mikrotunelování jednostupňová řízená metoda pro protlačení trub ze startovací do cílové jámy. Norma hovoří o vnitřním průměru trub do jednoho metru, avšak díky technickému vývoji v této oblasti je již dnes možné protlačovat trouby daleko větších světlostí. Před samotnými rourami je zatlačen plně mechanizovaný štít s vlastním drtičem, systémem navádění a odtěžení. Obsluha štítu probíhá dálkově z řídicího stanoviště, které se nachází vždy mimo samotný tunel. Trouby jsou ukládány bezprostředně za mikrotunelovacím strojem (MTBM). Celý princip pokládky trubního vedení je patrný z Obr. 12. Pro účely mikrotunelování je možné použít široké spektrum potrubí. Protlačované roury mohou být z kameniny, sklolaminátu, ale také z oceli popř. jiného materiálu. Důležité však je, aby zabudované potrubí bylo schopno přenést tlačné síly potřebné k jeho instalaci. [2]



Obr. 12 Schéma mikrotunelování [6]

Celý systém mikrotunelovacího stroje je velmi dobře říditelný a je možné jej použít jednak v proměnlivých geologických podmínkách, tak také pod hladinou podzemní vody a na dlouhých úsecích. Stroj dokáže budovat podzemní vedení v poměrně rychlém časovém sledu. Při příznivých geologických podmínkách je možno realizovat 20 i více metrů za den. Pro okolní zástavbu nepředstavuje metoda mikrotunelování žádné větší riziko. [2], [3]

Spolu s tím, jak jde vývoj v oblasti bezvýkopových technologií stále rychle kupředu, se technologie mikrotunelování stává již poměrně běžnou záležitostí. S tím souvisí také celosvětová nabídka nejrozličnějších typů MTBM, jenž se liší zejména v oblastech:

- požadovaného průměru (průlezné, neprůlezné)
- výrobce (ISEKI, Herrenknecht, Robinson, Akkerman)
- geologie, pro kterou je stroj určen (zeminová, poloskalní, skalní hlava) [10]

Dle systému odtěžení zeminy můžeme mikrotunelování rozdělit na:

- mikrotunelování se šnekovým dopravníkem
- mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy
- mikrotunelování s pneumatickým odtěžením [2]

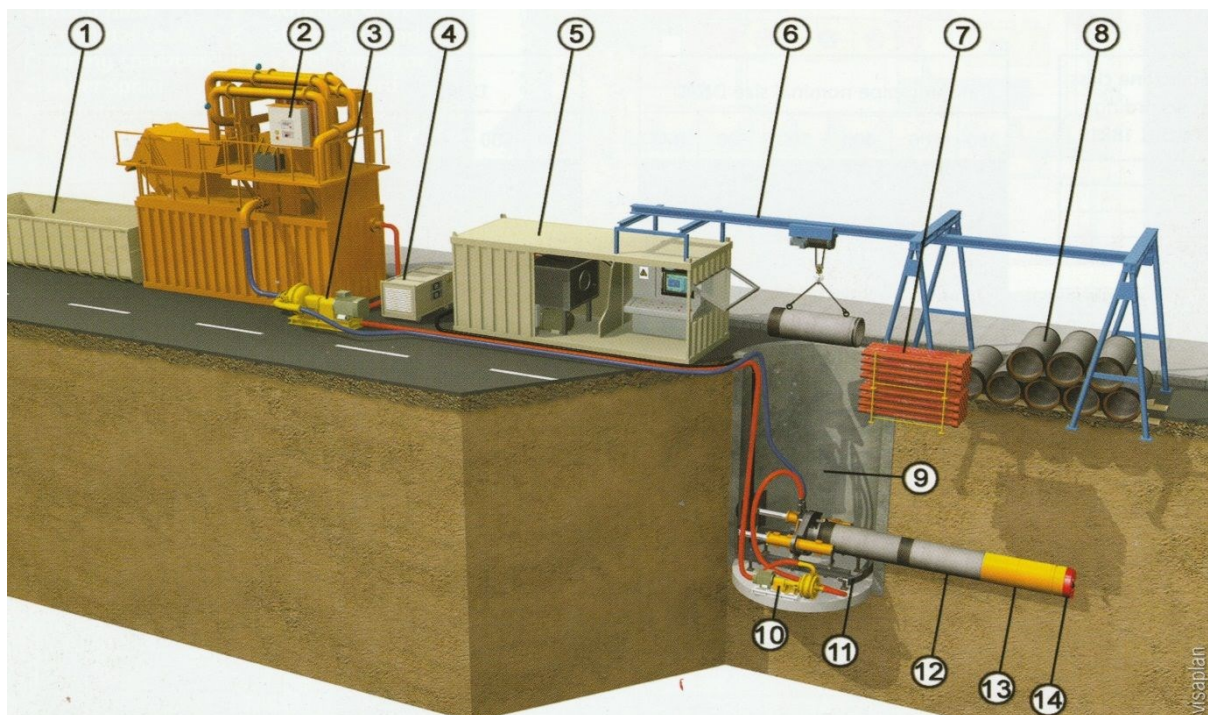
V dnešní době se díky rychlému vývoji v této oblasti používá u těchto výkonných strojů zejména hydraulického odtěžení, tedy odtěžení pomocí výplachu, tvořeném vodou a bentonitem. Pomocí čerpadel potrubím proudí výplach až do mísící komory za drtičem. V této komoře se výplach promíchá spolu s drtí kamene a zeminy a je čerpán zpět na povrch, kde dochází k oddělení hlušiny a transportní kapaliny. Detailní popis této technologie je uveden v následující podkapitole Mikrotunelování s hydraulickým odtěžením zeminy. [3], [10]

5.1 Mikrotunelování s hydraulickým odtěžením zeminy

Celkově můžeme mikrotunelovací soupravu rozdělit na tyto základní části:

- mikrotunelovací stroj
- ovládací kontejner
- tlačná stanice
- hydraulický transportní systém
- sedimentační zařízení
- přívodní a zpětné potrubí

Samotný mikrotunelovací stroj je pak dále rozdělen na dvě samostatné části spojené kloubem. První částí je plnoprofilová řídicí vrtná hlava, za kterou následuje druhá část, a to návěs. Na Obr. 13 jsou detailně vyobrazeny všechny nejdůležitější části mikrotunelovací soupravy. [2]



Obr. 13 Schéma mikrotunelovací soupravy s hydraulickým odtěžením zeminy [6]

- 1) kontejner pro rubaninu, 2) separační oddělení, 3) čerpadlo, 4) generátor energie, 5) řídicí kontejner, 6) jeřáb, 7) potrubí hydraulického systému, 8) sklad protlačovaného potrubí, 9) startovací jáma, 10) čerpadlo, 11) tlačná stanice, 12) protlačované potrubí, 13) mikrotunelovací stroj, 14) vrtací hlava

Soupravy pro mikrotunelování s hydraulickým odtěžením zeminy je možno použít jednak v zeminovém, tak také skalním prostředí nad i pod hladinou podzemní vody. V mikrotunelovacím stroji jsou umístěny všechny mechanismy sloužící k provozu stroje. Jedná se zejména o pohon a vysouvání vrtné hlavy, trafo, čerpací agregát a další. Samotné ovládání je zajištěno pomocí řídicí jednotky, nacházející se na povrchu v řídicím kontejneru. V dnešní době je za pomoci mikrotunelovacího stroje možno pokládat trouby od DN 250 do téměř 2500 mm. Avšak horní hranici není snadné přesně definovat. [2], [3]

Maximální možné délky protlačovaných úseků se liší v závislosti na zvoleném průměru potrubí, běžně se však pohybují do 100 m. Limitujícím prvkem v této oblasti je obrusnost

pracovních nástrojů, jako jsou nože, valivá dláta apod., jenž nemohou být během realizace jednoho úseku nijak kontrolovány, či měněny. Velkou roli hraje také maximální síla, kterou je tlačná stanice schopna vyvinout, avšak mnohem důležitější je otázka maximální dovolené tlačné síly působící na samotné potrubí. V případě, kdy se blížíme k předem stanovené maximální možné hranici, je možné nasadit tzv. mezitlačnou stanici, s pomocí níž můžeme tlačné síly rozdělit na několik částí. V souvislosti s tím je však třeba počítat se zpomalením rychlosti samotného protlačování. [2], [3]

Mikrotunelovacím strojem jsme schopni vytvářet oblouky, s čímž však souvisí nutnost použití speciálního navigačního zařízení. Díky mikrotunelování s hydraulickým odtěžením se na povrchu eliminuje vznik poklesových kotlin. Děje se tak zejména díky okamžitému podepření prostoru výrubu pláštěm mikrotunelovacího stroje spolu s tlakem výplachového média na čelbě, jenž zaručuje stálou rovnováhu s tlakovým působením vnějšího prostředí. [2], [3]

Velká pozornost se musí věnovat minimální tloušťce nadloží, jež by měla být minimálně 2 až 3 násobek průměru mikrotunelovacího stroje, nejméně však 1,8 m. V zeminách je mikrotunelování výrazně omezeno schopností drtiče rozdrtit větší průměry zrn vyskytující se v trase. Proto je výběr správné vrtací hlavy klíčovým rozhodnutím v celém procesu předvýrobní přípravy a bude mu ještě v průběhu této práce věnována detailnější pozornost. [2]

5.1.1 Příprava staveniště a ražby

Projekt mikrotunelování začíná na staveništi vyhloubením startovací a cílové jámy. Pro zapažení těchto jam se v praxi nejčastěji používají železobetonové skruže, ocelové štetovnice, popř. pažnice Union. Rozměry těchto jam se liší v závislosti na zvoleném typu stroje, resp. jeho průměru a délce. V těsném sousedství startovací jámy je nutno vyčlenit prostor pro zařízení staveniště a všechnu technologii spojenou s mikrotunelovacím strojem. Jedná se především o recyklaci výplachu, řídicí kabinu, jeřáb, mazací jednotku, skladování rour atd. Před samotným spuštěním mikrotunelovacího stroje do startovací jámy je potřeba tuto jámu patřičně připravit. Pro předejití případným problémům v průběhu realizace je potřeba věnovat velkou pozornost pečlivému provedení dna startovací jámy. V místě, kde má stroj proniknout do horninového prostředí je potřeba odstranit pažení, stejně tak v místě za budoucí tlačnou

stanici. Na ostění před řeznou hlavou je nutno osadit speciální vstupní prstenec s gumovým těsněním, jenž zajišťuje bezproblémový chod výplachu a brání jeho vytrysknutí do prostoru jámy. V prostoru za budoucí tlačnou stanicí se vybuduje speciální opěrná stěna, o kterou se tlačná stanice rozepře. Dalším bodem přípravy je připojení výtlačného čerpadla spolu s přípravou obtokové jednotky. [3], [10]

Po těchto krocích je do prostoru jámy nainstalována tlačná stanice spolu s vodícím rámem, na který se usadí již samotný mikrotunelovací stroj. Ten se propojí s obtokovou jednotkou hadicemi, zatímco kontakt s řídicí kabinou zajišťují připojené optické a elektrické kabely. Pro zajištění přesné polohy stoje a zabránění jeho rotaci po započetí ražby se stroj přikotví pomocí řetězů k betonovému dnu. Na povrchu jsou vodou naplněny odkalovací nádrže a v případě potřeby je do nich ještě přimíchán bentonit popř. polymery. K zahájení ražby může dojít až po osazení laseru a přesném geodetickém ověření správné polohy stroje. Po všech těchto výše popsanych úkonech už nic nebrání zprovoznění stroje a jeho prvnímu zatlačení. [3], [10]

5.1.2 Pracovní režim stroje

Po dokončení přípravných prací se razící stroj zprovozní a aktivuje se tlačná stanice. Po prvním zatlačení stroje do země je ražba přerušena. Pro napojení roury je nutné rozpojit všechny přívodní kabely a hadice. Až poté je na tlačný rám usazena roura produktovodu, která se napojí ihned za mikrotunelovací stroj. Po znovupropojení všech hadic a kabelů může ražba postupovat kupředu. Výše popsany proces se neustále cyklicky opakuje až do doby, kdy mikrotunelovací hlava dosáhne cílové jámy. V té je stroj zavěšen na jeřáb a vytažen na povrch. [3], [10]

Samotné rozrušování zeminy MTBM probíhá pomocí nástrojů, jež jsou umístěny na rotující vrtné hlavě. Skladba nástrojů a celkové provedení vrtací hlavy se liší v závislosti na předpokládané skladbě horninového prostředí. Na Obr. 14 je vlevo znázorněna hlava do zeminového prostředí v porovnání s hlavou skalní (vpravo). Po rozrušení je zemina dále tlačena hlouběji do stroje, kde se nachází drtič. Ten je velice důležitou součástí celého mikrotunelovacího stroje, poněvadž ani v zeminách nemůžeme vyloučit občasný výskyt balvanů resp. bludných kamenů. Ty jsou spolu se zeminou v drtiči podrceny a následně smíchány s přiváděným výplachovým médiem. Tato vzniklá suspenze se posléze dostává přes

štěrbínový otvor v zadní části drtiče do výplachového potrubí. Následující proces separace je důkladně popsán v příští podkapitole. [10]



Obr. 14 Rozdílné konfigurace čela vrtné hlavy zdroj: archiv autora, [11]

5.1.3 Systém odtěžení

Jak již bylo dříve zmíněno, odtěžení rubaniny je zajištěno pomocí uzavřeného systému potrubí, v němž cirkuluje výplachové médium. Pomocí čerpadla putuje výplachové médium do šachty, kde se skrz obtokové zařízení přivádí až k vrtné hlavě. Po promíchání média spolu s rubaninou je vzniklá suspenze poháněna čerpadlem zpět do prostoru startovací jámy, odkud proudí pomocí výtlačného čerpadla do separačního zařízení umístěného na povrchu. Aby nedocházelo k zanášení potrubí resp. k jeho zamrzání v zimních měsících, musí celý tento systém neustále cirkulovat. Právě pro zajištění neustálé cirkulace výplachového média je v mikrotunelovacím stroji umístěn druhý obtok., díky němuž je za pomoci dálkově říditelných ventilů možné přesměrovat proudění mimo razící hlavu. Toho se využívá zejména při instalaci další protláčené trouby nebo během technologických přestávek. [3], [10]

Separační zařízení (Obr. 15) je nedílnou součástí každého mikrotunelovacího stroje s hydraulickým odtěžením rubaniny. Pro minimalizaci nutné délky potrubí se zpravidla umísťuje co nejbližše ohlubni startovací jámy. Separační zařízení slouží k oddělení tekutého výplachového média od pevné složky, tedy rozdrčené vytěžené zeminy resp. horniny. Skládá se obvykle ze systému kalových nádrží, vibračních sít a případných hydrocyklón. Čerpaná suspenze je systémem potrubí přivedena na pásové síto. Na tomto sítu zůstane nejhrubší frakce, jež je odváděna na dočasnou skládku, zatímco tekutá fáze spolu s jemnou frakcí tímto

sítem protéká a dostává se do systému usazovacích kalových nádrží. V těchto nádržích probíhá sedimentace jemných frakcí zeminy. Pomocí mezilehlého čerpadla je médium dále dopravováno do hydrocyklonu. Hydrocyklón tvoří soustava několika trychtýřů, v nichž se krouživým pohybem odděluje pevné složka od kapalné. Pevná složka opět odchází na mezilehlou skládku, zatímco kapalné médium je dále čerpáno zpět do okruhu a celý popsany systém se znovu opakuje. [3], [10]



Obr. 15 Separčního zařízení [9]

5.1.4 Řízení stroje

Celá mikrotunelovací souprava je řízena operátorem z řídicí kabiny, umístěné co nejblíže startovací jámy. V této kabině jsou umístěny monitory, prostřednictvím kterých jsou sledovány indikátory a měřidla umístěné v těle MTBM. Jedná se především o:

- měřící kříž s laserovým ukazatelem
- stav integrovaných dálkově řízených ventilů obtokové soustavy před řeznou hlavou
- tlakoměry – kontrolující tlak výplachového média, tlak podzemní vody, efektivní napětí a tlak v hydraulickém rozvodu
- stav horního a dolního pístu řezné hlavy
- natočení stroje [10]

Pomocí dalších monitorů je možno kontrolovat délku vyložení lisů tlačné stanice, směr otáčení řezné hlavy, stav ventilů, rychlost ražby, míru zatížení čerpadel a motorů, naklonění stroje, elektrické napětí ve stroji, tlak od tlačné stanice na protlačecí potrubí apod. [10]

Samotný stroj je velmi přesně říditelný díky soustavě hydraulických válců, umístěných v těle štítu, s jejíž pomocí jsme schopni natáčet přední část štítu a tím tak upravovat požadovaný směr. Ten je vymezen projektovou osou, kterou musí operátor při zatlačování stroje přesně dodržovat. Děje se tak s pomocí již zmíněného monitoru (Obr. 16), na který je průmyslovou televizí přenášen obraz stopy paprsku směrového laseru na nitkovém kříži v těle štítu. Samotný laser je situován ve startovací jámě, kde jeho polohu pravidelně kontroluje geodet. Kromě dodržování požadovaného směru má operátor celou řadu dalších povinností. Kontroluje např. rychlost otáčení řezné hlavy nebo velikost přitlačných sil spolu s krouticím momentem. Všechny tyto úkony slouží k tomu, aby stroj nevyjel ze své dráhy při prvním geologickém rozhraní, případně při najetí na bludný balvan. [3], [10]



Obr. 16 Pohled na kontrolní panel v řídicí kabině zdroj: archiv autora

Zcela samostatnou kapitolu v rámci všech úkolů operátora tvoří udržování rovnovážného stavu mezi tlakem vnější prostředí a tlakem výplachového média v řezné hlavě. V případě, kdy je tento tlak příliš nízký, dochází, jak již bylo zmíněno, k zanášení potrubí těžným materiálem. V opačném případě, při příliš vysokém tlaku v řezné hlavě, může dojít

k pronikání výplachového média do okolní zeminy. V extrémním případě může výplachové médium projít celou výškou nadloží a posléze vytrysknout na povrch, což zejména v centrech měst může způsobit značné problémy s fatálními následky. [10]

5.1.5 Tlačná stanice

Tlačné stanice se od sebe liší především svými rozměry. Důležitou roli hrají také faktory, jako jsou maximální možná tlačná síla, tvar roznášecí desky, délka pracovního záběru popř. počet stupňů a osazených pístů. Pro potřeby mikrotunelování se používá celý řada tlačných stanic. Obecně však můžeme říct, že malá stanice není schopna vyvinout dostatečně velký tlak pro potrubí velkých průměrů. Naopak velké stanice jsou příliš mohutné a jejich uplatnění při realizaci menších průměrů je značně neekonomické resp. neefektivní, což souvisí s nutností budování velkých startovacích jam, notabene jejich síla nemůže být ani plně využita s ohledem na tlakovou únosnost protláčeného potrubí. [10]

Samostatnou problematiku tvoří stanovení maximální dovolené tlačné síly stanice na potrubí resp. důležitější je stanovení únosnosti daného potrubí tak, aby při realizaci za žádných okolností nedošlo k jeho rozdrčení. Maximální dovolenou tlačnou sílu na potrubí by měl stanovit už samotný výrobce. Jenže daná problematika je v tomto ohledu trochu složitější, poněvadž výrobci udávají maximální osovou sílu aplikovanou na potrubí, kterou není nijak těžké v laboratorních podmínkách stanovit. Oproti tomu při realizaci in-situ nejsme nikdy schopni dosáhnout dokonale přímého vedení, a právě takto vzniklá excentricita má na přenos tlačných sil zcela zásadní vliv. Díky tomu je často ze strany zhotovitele přistupováno k redukci maximálních hodnot únosností pokládaných potrubí. [10]

Jako příklad můžeme uvést projekt realizace 2. fáze Úslavského kanalizačního sběrače, kde při zahájení stavby proběhla schůzka zhotovitelů se zástupci firmy Keramo Steinzeug, jež je výrobcem kameninového potrubí DN 800 použitého v rámci této zakázky. Po zhodnocení všech aspektů bylo rozhodnuto o redukci maximální osově tlačné síly z původních 3 700 kN na hodnotu 2 900 kN. To vše bylo navíc podmíněno požadavkem týkající se odchylek, jež mohly být pouze pozvolné a nesměly překročit toleranci ± 25 mm ve vertikálním a ± 40 mm v horizontálním směru. [10]

5.1.6 Lubrikační jednotka

Ke snížení tření mezi protlačovanou troubou a okolním prostředím se obvykle používají bentonitové směsi. Nejenže tyto bentonity snižují tření, čímž usnadňují protlačení, ale zároveň jsou schopny vyplnit jistou část technologického nadvýlomu, který při ražbě vniká. Lubrikanty jsou obvykle vháněny nezávislým potrubím skrz injektážní spáru, která je umístěna po obvodě za hlavou razicího stroje, do prostoru za protlačovaným potrubím. Samotná injektážní souprava je tvořena míchačkou na bentonit, čerpadlem a akumulací nádrží. Od průměru zpravidla 1 200 mm se potrubí lubrikuje po celé délce ražby skrz jednosměrné ventily osazené v zatlačovaném potrubí. [10]

Následující část práce je věnována detailnímu popisu dvou již zrealizovaných projektů týkajících se bezvýkopových technologií. Jako první je představen projekt *Mikrotunelování na Praze Vinohrady* z přelomu let 2015 a 2016. Druhým z popisovaných je projekt *Říditelného šnekového vrtání v Havířově na ulici Fryštátská*, jehož realizace skončila poměrně nedávno, na začátku listopadu 2016. Tyto projekty nebyly pro účely diplomové práce vybrány zcela náhodně. Důraz byl při výběru kladen zejména na porovnatelnost obou realizací, což se do značné míry také podařilo. Popisované projekty jsou zcela totožné co do maximální délky zrealizovaných úseků (49,75 vs. 51 m). V obou případech se také jednalo o pokládku nového kanalizačního sběrače z kameniny, v porovnatelných profilech DN400 oproti DN300 a DN250. Stejně tak hloubky uložení jednotlivých stok jsou si velmi podobné, v některých případech dokonce totožné. Jediný rozdíl spočívá v zastižené geologii, avšak tento fakt bude posléze zohledněn v samotném porovnání.

6 Projekt mikrotunelování Praha – Vinoř

Předmětem projektu mikrotunelování v Praze – Vinoři byla na přelomu let 2015 a 2016 realizace nové stoky DN400 přivádějící splaškové vody do nově vybudované ČSOV Vinoř. Součástí projektu bylo rovněž propojení nové a stávající ČSOV stokou DN300. Dle původního projektu se počítalo s využitím bezvýkopové technologie ražení v převážné délce celého projektovaného úseku. Zakázka byla úspěšně realizována firmou Čermák a Hrachovec a.s. pro vyššího zhotovitele. Investorem celého projektu byla Pražská Vodohospodářská společnost a.s. [12], [13]

6.1 Situování a popis díla

Práce byly prováděny na ulici Mladoboleslavské a Štěpánovské v Praze – Vinoři od srpna 2015 do ledna 2016. Ulice Mladoboleslavská (Obr. 17) je významně dopravně zatížená komunikace, zajišťující spojení Dřevnic, Jenštejna a Vinoře s centrální Prahou. Oproti tomu ulice Štěpánovská je pouze místní komunikací s minimálním provozem, zajišťující přístup ke stávající čerpací stanici odpadních vod a okolním pozemkům s drobnou výrobou a sklady. Právě z důvodu značného vytížení Mladoboleslavské ulice bylo projektantem navrženo bezvýkopové řešení dané situace. Dopravní odbor Magistrátu hl. města Prahy požadoval v době realizace zachování jednoho jízdního pruhu, který měl sloužit obousměrnému provozu. Z těchto důvodů byly startovací a cílové šachty umístěny pouze v jednom jízdním pruhu. [12], [13]



Obr. 17 Mladoboleslavská ulice, Praha- Vinoř zdroj: archiv autora

Projektem bylo navrženo vybudování čtyř startovacích a pěti cílových šachet, jež měly sloužit pro vyražení sedmi úseků o celkové délce 305,6 m. Jednotlivé délky úseků se pohybovaly v rozmezí od 35,5 do téměř 50 m. Pro účely kanalizace byla navržena bezhrdlová kamenina DN400 CreaDig pro protlačení. Mocnost nadloží se pohybovala v rozmezí od 3,8 do 6,2 m. [12], [13], [14]

6.2 Geologické poměry

Následující představené geologické a hydrogeologické poměry byly součástí závěrečné zprávy geologického průzkumu pro danou stavbu, kterou zpracovala společnost Watersystem v lednu roku 2014.

Z geologického hlediska je zájmové území tvořeno svrchnoproterozoickými a staropaleozoickými horninami překrytými sedimenty svrchní křídý a uloženinami kvartéru. [12]

Paleozoické horniny zastupují v okolí zájmové lokality horniny středního až svrchního ordoviku – černé břidlice, jílovité břidlice, droby, pískovce, prachovce, tmavo šedé jílovce a mladší pískovce. [12]

Sedimenty svrchní křídý jsou transgresivně uloženy na podložních horninách. Tyto vrstvy jsou zastoupeny ve formě jílovitých pískovců, místy až slepenců se značným podílem písčité frakce. Dále jsou zde zastoupeny jílovce a prachovce. [12]

Perucké vrstvy jsou převážně překryty mladšími sedimenty. Jedná se většinou o dobře vytríděné středně zrnité křemenné pískovce s hrubozrnnou příměsí s občasnými vrstvami valounků. [12]

Kvartérní pokryv je tvořen eolitickými sedimenty a deluviálními a deluvio-fluviálními sedimenty podložních hornin holocenního stáří. [12]

Úsek ulice Mladoboleslavské

Ve zmíněném úseku se v přípovrchové vrstvě nacházejí navážky konstrukce vozovky a zásypy podzemních vedení, charakteru zahliněných štěrků, štěrkovitých hlín a písků

v proměnlivé mocnosti. Pod navážkami se nacházejí deluvio-fluviální sedimenty charakteru hlinitých písků, hlín a jílu, které přecházejí do eluvia podložních jílovců. Povrch jílovců byl vrtem J-107 zastižen na úrovni 226,8 m n. m., vrtem Vi-2 v úrovni 223,6 m n. m. [12]

Projektovaná trasa potrubí je vedena pod hladinou podzemní vody v eluviích silně zvětralých jílovců charakteru písčitého až štěrkovitého jílu – F5, F4, S5, G4. V závěrečné zprávě geologického průzkumu bylo konstatováno, že vzhledem ke značnému stupni rozpukání se jílovce neřadí ke skalnímu podloží. [12]

Úsek ulice Štěpánovské

Zde se v přípovrchové vrstvě nacházejí navážky konstrukce vozovky a zásypů podzemních vedení, charakteru zahliněných štěrků, štěrkovitých hlín a písků v proměnlivé mocnosti. Trasa stoky je vedena v eluviích jílovců, charakteru písčitého až štěrkovitého jílu a nad nimi ve fluviálních sedimentech charakteru jílovité hlíny a jílu s vložkami více zvodnělých písků – F8, F7, F6, F4, S3. Trasa potrubí je zde opět v celém úseku vedena pod HPV. Skalní podloží nemělo být dle závěrečné zprávy zastiženo. [12]

6.3 Hydrogeologické poměry

Z hydrogeologického hlediska náleží širší zájmové území do povodí řeky Labe. Dle základní vodohospodářské mapy je uvažované území odvodňováno k jihovýchodu až východu do Vinořského potoka. Hloubka hladiny podzemní vody je zde silně závislá na aktuálních srážkách. [12]

V úseku ulice Mladoboleslavská je HPV ustálena přibližně v hloubce 1,5 – 3 m pod povrchem terénu s přítoky z písčitých poloh. Velikost přítoků však předem nešlo odhadnout. Vrtem Vi – 2 byla v místě křižovatky Mladoboleslavská - Štěpánovská zastižena málo výrazná průlinová zvodeň, vázaná na vrstvu jílovitých písků v hloubce 4 – 4,6 m pod povrchem. HPV byla naražena v hloubce cca 4 m pod povrchem terénu, zatímco ustálená hladina se pohybovala v hloubce cca 2,95 m pod povrchem. [12]

Nejsilnější přítoky byly zaznamenány z vrstvy písku zaznamenané v hloubce 5 – 5,5 m pod povrchem terénu, a to v místě budoucí ČSOV. Závěrečná zpráva předpokládala právě

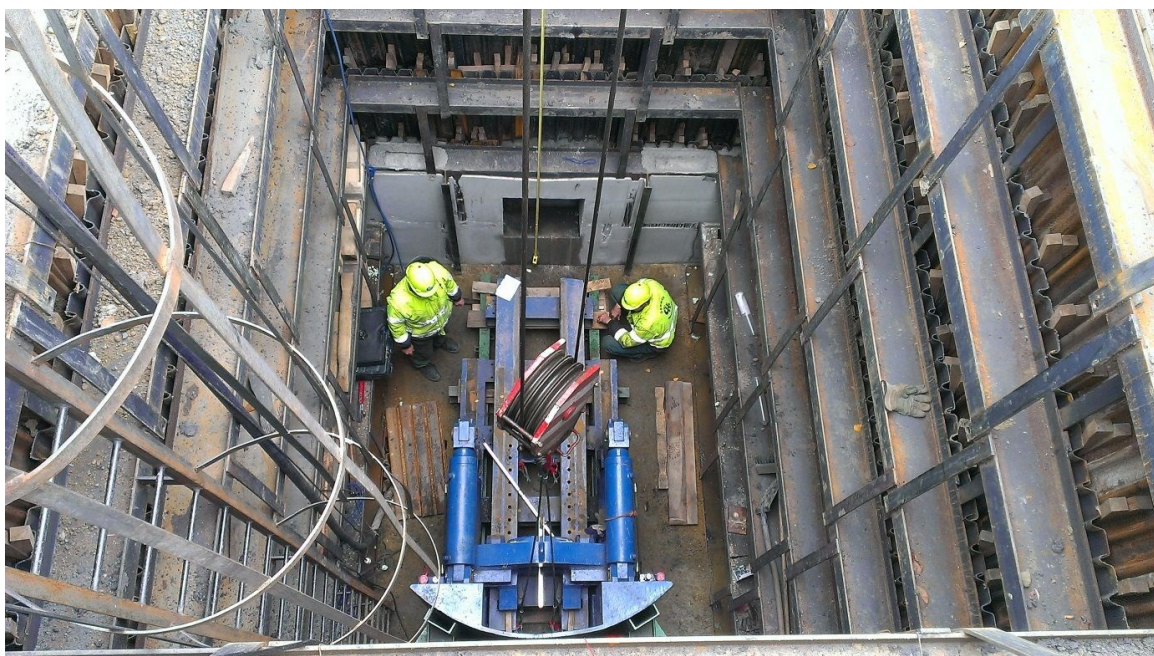
v tomto místě intenzivní přítoky. HPV byla naražena v hloubce cca 2 m pod povrchem terénu a ustálená HPV se nacházela v hloubce 0,9 pod povrchem terénu. [12]

6.4 Stavebně technické řešení

Z hlediska povrchových poměrů je podstatné, že byly práce prováděny v dopravně velmi vytižené komunikaci, s nutností zachování provozu v jednom jízdním pruhu. V zájmové vzdálenosti od projektované trasy se nenacházely žádné budovy. V dosahu teoretické zóny ovlivnění byla tedy pouze samotná komunikace spolu s inženýrskými sítěmi. Za výjimku lze považovat pouze zděné oplocení objektu 1455 v křižovatce ulic Mladoboleslavská a Štěpánovská. V případě dodržení všech technologických postupů spolu s potvrzením geologických předpokladů nehrozilo poškození jak samotné komunikace, tak ani inženýrských sítí. [12], [14]

6.4.1 Startovací a cílové šachty

Základní konstrukční řešení bylo u všech šachet stejné, tedy vodorovné rámy z válcovaných profilů IPN 260 až IPN 220 na závěsech z PLO 70/10 spolu s pažením z ocelových pažnic Union tl. 3 mm. Celkové řešení je patrné z Obr. 18. [12], [14]



Obr. 18 Pohled do startovací šachty zdroj: archiv autora

Pro potřeby mikrotunelování byly budovány dva typy šachet (Tab. 3), lišící se jednak svými rozměry, pak také hloubkou. Šachty startovací měly rozměry 4,5 x 3,5 m s hloubkou pohybující se od 5,8 do 7,15 m. Oproti tomu šachty cílové byly menších rozměrů 4 x 2 m s hloubkou od 4,4 do 6,8 m. Startovací šachty slouží k zavedení stroje do horninového prostředí a je v nich tedy nutná instalace tlačné stolice. Z toho důvodu se dno šachty naházelo 1150 mm pod dnem zatlačovaného potrubí. Oproti tomu cílové šachty sloužily pouze k pozdějšímu vyzvednutí stroje na povrch a bylo v nich tedy možné vyhloubit dno šachty pouze 550 mm pod dnem trouby kanalizace. Samotné dno sestávalo ze šterkového lože tl. 150 mm, na němž byla vybudována betonová deska tl. 150 mm z betonu C20/25 s ocelovou sítí 6/100-6/100. [12], [14]

Název	Půdorys [m]	Terén [m n. m.]	Dno [m n. m.]	Hloubka [m]	Souřadnice středu	
					"X"	"Y"
TŠ14	4 x 2	225,95	221,60	4,35	1 037 719,77	729 832,74
TŠ15	4,5 x 3,5	227,28	221,45	5,83	1 037 683,83	729 869,41
TŠ16	4 x 2	228,59	222,47	6,12	1 037 651,71	729 899,87
TŠ17	4 x 2	229,30	222,46	6,84	1 037 650,16	729 914,36
TŠ18	4,5 x 3,5	229,51	222,36	7,15	1 037 674,24	729 945,92
TŠ19	4 x 2	229,95	223,28	6,64	1 037 704,58	729 985,66
TŠ20	4,5 x 3,5	230,27	223,26	7,01	1 037 735,13	730 025,24
TŠ21	4 x 2	230,39	224,18	6,21	1 037 766,04	730 064,54
TŠ22	4,5 x 3,5	230,16	224,16	6,00	1 037 797,22	730 103,63

Tab. 3 Rozpis šachet pro mikrotunelování [12]

6.4.2 Použité strojní vybavení

Zakázka byla realizována pomocí mikrotunelovací technologie od společnosti ISEKI. Konkrétně se jednalo o mikrotunelovací stroj ISEKI Unclemole TCC 400 id (Obr. 19). Tento stroj je osazen zeminovou vrtací hlavou a pracuje na principu hydraulického odtěžení zeminy. Společnost Čermák a Hrachovec a.s. tuto technologii odkoupila od společnosti TCHAS, která stroj dříve využívala na projektech v Ostravě, Karviné a okolí. Veškeré hlavní mechanismy jsou osazeny přímo v těle mikrotunelovacího stroje. Kompletní technologie je tvořena vrtací stolicí, výplachem, vrtací hlavou, kontejnerem s řídicím centrem a generátorem. Pro separaci vytěžené zeminy od výplachového média je zde využíváno cyklónového proudění spolu se systémem tří sedimentačních nádrží umístěných v řadě za sebou. [12], [13]



Obr. 19 Mikrotunelovací stroj ISEKI Unclemole 400 zdroj: archiv autora

6.5 Průběh prací

Jak již bylo zmíněno, mechanizovaná ražba probíhala vždy ze startovacích šachet směrem k šachtám cílovým. Práce započaly na TŠ22, která byla jako jediná z šachet použita pouze pro rozrazení v jednom směru. Ze zbývajících startovacích šachet tj. TŠ20 a TŠ18 se razilo vždy v obou směrech. V Tab. 4 jsou upřesněny jednotlivé délky ražených úseků, kdy nejdelší z nich měřil 49,75 m. Ačkoli jsou mikrotunelovací stroje schopny razit mnohem větší vzdálenosti, bylo projektantem rozhodnuto o maximální možné vzdálenosti jednotlivých šachet do 50 metrů, a to zejména s ohledem na nutnost umísťování revizních šachet v kanalizační síti právě po zmíněných 50 metrech. [15]

Úsek mezi šachtami	Délka úseku [m]
TŠ18 - TŠ17	36,04
TŠ18 - TŠ19	39,46
TŠ20 - TŠ19	45,72
TŠ20 - TŠ21	49,75
TŠ22 - TŠ21	45,75

Tab. 4 Jednotlivé délky ražených úseků [15]

Razicí práce probíhaly různě rychle, zejména v závislosti na zastižené geologii, která se v průběhu trasy značně měnila. V souladu s geologickým průzkumem byly zastiženy silně zvětralé jílovce charakteru písčitého až štěrkovitého jílu, dále pak jílovité hlíny a jíly

s vložkami více zvodnělých písků. Dle předpokladu bylo také celé potrubí uloženo pod hladinou podzemní vody. Oproti předpokladu projektu však bylo místy zastiženo také skalní podloží, což si vynutilo celkové zpomalení razících prací. Avšak díky použité technologii, zejména pak systému odtěžení s vodním výplachem, se podařilo zvládnout i tyto náročnější úseky. V neskálních úsecích byla osádka schopna standardně dosahovat 8 metrů za směnu. Ve skalních úsecích klesala rychlost ražení místy až na polovinu. V souvislosti s danou hloubkou realizace nebyly zastiženy žádné inženýrské sítě a současně nebyly zjištěny žádné měřitelné projevy ražby na povrchu. [13], [14]

Problémy během realizace

Práce probíhaly bez větších problémů až do úseku mezi šachtami TŠ18 a TŠ19. Právě v tomto úseku, konkrétně na 16. metru od TŠ18 došlo k poškození mikrotunelovacího troje. Důvodem byla uvolněná korunka, která zapříčinila vychýlení hlavy ze své osy, což v konečném důsledku znamenalo vytržení šroubů spojujících vrtnou hlavu se samotným strojem. Díky této neočekávatelné události musely být razící práce přerušeny a bylo nutné přistoupit k vyproštění a opravě samotného stroje. V souvislosti s tím došlo k časovým prostojům a ekonomickým vícenákladům na straně zhotovitele díla. [14]

Dle prvotního projektu byl v místě mezi šachtami TŠ16 a TŠ17 navržen úsek ražené štoly. Na tento úsek měly posléze následovat další dva úseky mikrotunelování. Avšak během realizace této štoly se narazilo na mnohem horší hydrogeologické podmínky, než se kterými počítal samotný projekt. V místě se objevily výrazně zvodnělé vrstvy jílovitých písků tzv. tekuté písky. Jelikož tyto zvodnělé písky pokračovaly až do míst, kde mělo proběhnout napojení ražené štoly a mikrotuneláže, byla zde obava z možných průsaků. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto o využití ručního štolování také v úsecích, kde byla prvotně dle projektu navržena mikrotuneláž. Konkrétně se tedy jednalo o úseky od TŠ16 k TŠ14 ve Štěpánovské ulici. Toto opatření mělo čistě bezpečnostní charakter, neboť technologie mikrotuneláže umožňuje pokračovat také v takto zvodnělých pískách. [14]

6.6 Zhodnocení projektu

Celý projekt byl úspěšně dokončen v průběhu ledna 2016. V mimořádně náročných a proměnlivých podmínkách okolí Prahy odvedla mikrotunelovací souprava ISEKI dobrou

práci, kdy nakonec vyrazila více než 216 m nového kanalizačního sběrače v profilu DN400. Během ražby všech úseků se podařilo dodržet jak požadovaný spád, tak také směr a nebyly zaznamenány žádné měřitelné projevy ražby na povrchu. V souvislosti se zdoláváním neočekávaného skalního podloží v části trasy souprava potvrdila, že její možnosti jsou mnohem širší, než by se na první pohled mohlo zdát. [13]

7 Řiditelné šnekové vrtání na ulici Fryštátské – Havířov

Předmětem celého projektu bylo vybudování čtyř nových kanalizačních stok v profilech DN 250 a DN 300, jako součást nové splaškové kanalizace v městské části statutárního města Havířov - Prostřední Suchá. Kompletní projekt zahrnoval gravitační stoky, dvě čerpací stanice a dva výtlačné řady. Práce probíhaly v roce 2016 v rámci stavby „Rekonstrukce silnice III/4745 Havířov, U Šimaly“. [16]

7.1 Situování a popis díla

Výstavba kanalizace byla součástí celkové rekonstrukce ulice Fryštátské (Obr. 20), ke které se přistoupilo po četných stížnostech místních občanů. Součástí projektu za více jak 16 milionů korun byla kromě již zmíněné kanalizace také celková rekonstrukce komunikace, včetně výstavby zcela nového chodníku. Jednalo se o více méně specifickou akci, neboť investorem bylo jak město, tak také Moravskoslezský kraj. Město Havířov financovalo 7,8 miliony korun výstavbu chodníku a přípravnou část páteřní kanalizace, zatímco kraj poskytl finance na opravu silničního tělesa. [16], [17]



***Obr. 20** Ulice Fryštátská, Havířov – Prostřední Suchá zdroj: autor*

Práce byly prováděny na ulici Fryštátské a jejím nejbližším okolí od léta do podzimu roku 2016. Převážná většina prací na kanalizačních sběračích probíhala s využitím

bezvýkopové technologie, konkrétně tedy za pomoci říditelného šnekového vrtání s pilotním vrtem. Všechny práce spojené s protlakem prováděla firma TALPA – RPF s.r.o. O využití bezvýkopové technologie bylo rozhodnuto z důvodu uložení stoky ve stávající veřejné komunikaci, která byla rekonstruována současně s pokládkou nového kanalizačního sběrače. [16]

7.2 Popis jednotlivých stok

Gravitační stoky včetně veřejných částí kanalizačních přípojek, budovaných za pomoci protlaku, byly dle projektu rozděleny na čtyři samostatné úseky. Z Tab. 5 jasně vyplývá celková délka protlaků v daném úseku spolu s vyznačením šachet, mezi kterými se daný úsek realizoval.

Označení stoky	Umístění stoky	Celková délka protlaku [m]
SA - 1	mezi šachtami 27-33	198
SB	mezi šachtami 42-46	106
SB - 4	mezi šachtami 46-65	51
SB - 2	mezi šachtami 55-57	70

Tab. 5 Přehled realizovaných stok [16]

Stoka SA-1 odvádí splaškové vody z části ulice Fryštátská do nově vybudované čerpací stanice ČS1. Trasa vede parkovištěm, zatravněnými plochami a dále pak přidruženými pozemky silnice mimo samotnou vozovku. Kanalizace vede z velké části v souběhu s kabelovou trasou podzemního sdělovacího vedení a zároveň kříží stávající plynovodní a vodovodní potrubí spolu s vedením nízkého napětí. Celá stoka SA-1 byla provedena bezvýkopově z kameninových trub DN 250 v délce 198 m. Sklon trasy činí 6,5 až 9,6 ‰, přičemž dno potrubí bylo ukládáno v hloubce 1,9 až 5,4 m pod povrchem terénu. [16]

Stoka SB odvádí splaškové vody z částí ulic Lísková a Fryštátská do nově vybudované čerpací stanice ČS2. Stoka kříží stávající vodovodní a plynovodní rozvod včetně jejich přípojek, dešťovou stoku a vedení nízkého napětí. Celá trasa je rozdělena do dvou samostatných úseků, kdy první je vybudován v otevřeném výkopu délky 256 m. Zbývající úsek je proveden protlakem z kameninových trub DN 300 v délce 85,1 m a DN 250 v délce

20,9 m. Celá stoka je uložena ve sklonu 8,8 až 56,4 ‰ a dno potrubí se nachází v hloubce 1,6 až 4,3 m. [16]

Stoka SB-2 vede v části ulice Lísková a ulice Fryštátská. Trasa prochází nejprve středem šterkové vozovky a následně zatravněnou cestou ulice Lísková, kde odbočuje na ulici Fryštátskou a vede v přidružených pozemcích mimo vozovku. Stoka SB-2 kříží stávající vodovod a plynovod včetně přípojek a dále pak podzemní vedení NN a nadzemní vedení VN. V délce 141,5 m je daný úsek proveden v otevřeném výkopu. Zbývajících úsek 70 m je proveden bezvýkopově z kameninových trub DN 250. Stoka je uložena ve sklonu 14,6 až 58,3 ‰ a dno potrubí se nachází v hloubce 1,8 až 2,5 m pod povrchem terénu. [16]

Stoka SB-4 odvádí splaškové vody z ulice Lesácká do stoky SB ve Fryštátské ulici. Je vedena středem asfaltové vozovky v souběhu se stávajícím vodovodem. Trasa kříží stávající vodovodní přípojky, podzemní vedení NN, podzemní sdělovací kabely a nadzemní vedení NN a telefonu. Úsek je v délce 51 m proveden bezvýkopově za použití kameninových trub DN 250. Ve zbývajících části 100 m byl navržen otevřený výkop, kde byly pokládány trouby PPUR2 DN 250. Stoka je uložena ve sklonu 7,3 ‰ a dno potrubí sahá do hloubky 1,6 až 4,4 m. [16]

7.3 Geologické a hydrogeologické poměry

Při popisu geologických poměrů autor vycházel ze čtyř geologických sond, jež jsou uvedeny v přílohách technické zprávy akce: „*Odkanalizování části města Havířova, Městská část Prostřední Suchá ul. Fryštátská a okolí*“, jejímž autorem je společnost SWECO Hydroprojekt a.s. S výjimkou geologického vrtu GS-1 byly všechny ostatní tj. GS-3 až GS-5 realizovány v místě stávající pozemní komunikace, což se zákonitě odrazilo také v popisovaném profilu daných vrtů. Profil vrtu GS-2 bohužel nebyl součástí příloh dané technické zprávy. [16]

V popisovaném objektu GS-1 se do 10 cm pod povrchem nachází rekultivační vrstva navážek charakteru jílu hnědé barvy s nízkou plasticitou (F6O). Navážky převážně charakteru jílu s nízkou plasticitou (F6) rovněž sahají dále do hloubky 1,2 m. Od hloubky 0,9 m se navíc vyskytují přechody do šterku jílovitého s občasným výskytem úlomků cihel, a to až do poloviny jejich velikosti. V rozmezí od 1,2 do 2,3 m se nachází tuhý, šedě zbarvený jíl

s nízkou plasticitou (F6). Ve zbývajícím zkoumaném geologickém profilu byl až do hloubky 9 m zastižen jíl se střední plasticitou (F6). Shora světle hnědý, níže šedohnědý až šedý s rezavými smouhami. [16]

V geologických profilech GS-3 až GS-5 se na povrchu shodně nachází navážka typu živičného povrchu vozovky v mocnosti od 10 do 20 cm. Po této navážce následuje do hloubky 1 m další konstrukční vrstva vozovky tvořená štěrkem s příměsí jemnozrnné zeminy (G3). V hloubce 1 do 2,5 m pod povrchem terénu se obecně nachází vrstva jílu s nízkou plasticitou (F6). Pod vrstvou tohoto jílu následuje dále až do zjišťované hloubky 5 m vrstva jílu tuhé konzistence se střední plasticitou (F6). Typický výkopek pro danou oblast realizace je znázorněn na Obr. 21. [16]



Obr. 21 Výkopek typický pro danou oblast zdroj: autor

V rámci zpracování hydrogeologického posouzení oblasti byly změřeny stávající hladiny podzemní vody ve zjištěných domovních studnách. Další práce spočívaly ve studiu archivních materiálů a v podrobné rekognoskaci terénu. Na základě takto získaných informací technická zpráva uvádí možný výskyt podzemní vody v převážné většině výkopů. [16]

7.4 Stavebně technické řešení

Práce spojené s protlakem probíhaly po celou dobu současně s rekonstrukcí ulice Fryštátské. Z toho titulu plynula různá dopravní omezení spojená s pohybem mechanizace po staveništi jako takovém. Zde se naplno projevila výhoda použité technologie protlaku, která je vysoce kompaktní a není na povrchu prostorově příliš náročná.

7.4.1 Startovací a cílové jámy

Startovací jámy byly paženy ŽB skružemi o světlosti 2000 mm. Hloubky jednotlivých jam se pohybovaly od 2,4 do více jak 6 m pod povrchem terénu. Jámy cílové byly stejného průměru jako jámy startovací. Toho se využívalo zejména v případě, kdy daná jáma sloužila k rozrážení ve více směrech. V tu chvíli mohla sloužit jednak jako jáma startovací, tak také jako jáma cílová. [16]

7.4.2 Použité strojní vybavení

Realizující společnost TALPA – RPF s.r.o. zde nasadila stroj Bohrtec BM 400, zakoupený v roce 2015. Toto zařízení pro říditelné šnekové vrtání je schopno vyvinout tlačnou sílu až 100 tun a zároveň využívá určité technologické novinky, jako jsou např. duální tyče pro realizaci pilotního vrtu. Stroj je schopen zvládnout geologii od měkkých zemin přes kamenité půdy až po měkké anebo rozpadavé skalní horniny. Zařízení pracuje na třífázovém principu výstavby popsaném v Kapitole 4. V souvislosti se šnekovým odtěžením výkopku plyne jedno omezení, a tím je maximální kusovitost těžené horniny resp. zeminy, která se pohybuje zhruba okolo jedné čtvrtiny světlého průměru použité výpažnice. [16]



Obr. 22 Zařízení Bohrtec BM 400 zdroj: autor

7.5 Průběh prací

Práce spojené s protlaký započaly na začátku července 2016. Z důvodu komplikované situace na stavbě z pohledu vyššího zhotovitele, probíhaly práce na jednotlivých stokách přerušovaně, a to až do začátku listopadu roku 2016. Obecně se však dá říct, že byla provádějící firma schopna zrealizovat padesátimetrový protlak v řádu 4 až 5 dnů. Protlaký do vzdálenosti 20 až 25 metrů byly hotovy v horizontu 3 dnů.

Jak již bylo dříve uvedeno, práce byly rozděleny do čtyř hlavních stok. Celkem bylo bez větších potíží zrealizováno 425 m protlaků v prostředí jílu s nízkou až střední plasticitou. Z Tab. 6 vyplývají délky jednotlivých protláčených úseků včetně jejich příslušnosti k daným stokám. [16]

Stoka	Úsek mezi šachtami	Délka úseku [m]	Stoka	Úsek mezi šachtami	Délka úseku [m]
Stoka SA - 1	Š27 - Š28	21,00	Stoka SB	Š42 - Š43	21,20
	Š28 - Š29	45,00		Š43 - Š44	47,00
	Š29 - Š30	48,00		Š44 - Š45	16,90
	Š30 - Š31	43,20		Š45 - Š46	20,90
	Š31 - Š32	12,80			
	Š32 - Š33	28,00			
Stoka	Úsek mezi šachtami	Délka úseku [m]	Stoka	Úsek mezi šachtami	Délka úseku [m]
SB - 2	Š56a - Š56b	20,00	SB - 4	Š46 - Š65	51,00
	Š56b - Š57a	50,00			

Tab. 6 Výčet všech realizovaných protlaků [16]

Problémy během realizace

V souvislosti s realizací zmíněných protlaků je potřeba zmínit také jednotlivé problémy, jež se v průběhu výstavby vyskytly. Tím nejvýznamnějším byly bezesporu poruchy ŽB skruží, které pod nápoem tlačné síly stroje praskaly (Obr. 23). Z důvodu vychýlení stroje ze své původní polohy musely být protláčecí práce vždy na nezbytně dlouhou dobu přerušeny. Řešením v této situaci bylo dodatečné obetonování skruží v místech porušení, spolu se vsazením ocelové tabule pro zajištění větší roznášecí plochy. Tento problém se vyskytl

v několika případech a zapříčinil tak několikadenní prostoje. Chyba však nebyla v samotných skružích, ale na straně zhotovitele, který měl na starost hloubení a realizaci startovacích a cílových šachet. Příčinou poruch bylo zcela zjevně nedostatečné obetonování skruží právě v místech, kde se tlačný rám rozpírá a při protlačení potrubí tak vyvozuje největší tlak.



Obr. 23 Prasklá železobetonová skruž – pozůstatek po předešlém protlaku zdroj: autor

Oproti předpokladu projektu byla hladina podzemní vody zastižena v méně místech, než bylo predikováno. V souvislosti s podzemní vodou, je potřeba zmínit také vysokou lepivost jílu, vyskytujícího se v části trasy. Tento jíl způsoboval zanášení šnekového vynašeče a spolu s delší dobou potřebnou pro vyprazdňování těžní nádoby měl za následek celkově delší dobu realizace jednotlivých protlaků.

7.6 Zhodnocení projektu

Všechny práce spojené s protlaky byly úspěšně dokončeny na začátku listopadu roku 2016. Pomineme-li praskající ostění startovacích šachet, tak během realizace nedošlo k žádným dalším závažnějším problémům, jež by si vyžádaly výraznější časové zpoždění popř. ekonomické ztráty. V souvislosti s realizací protlaků rovněž nebyly zasaženy žádné podzemní sítě ani vedení. Díky použité technologii a výrazné výkonnosti rezervě si stroj Bohrtec hravě poradil i s těmi nejdelšími protlaky, jež byly v rámci této stavby realizovány.

8 Porovnání mikrotunelování s říditelným šnekovým vrtáním

Hlavním cílem práce, z čehož vyplývá již samotný název, je nezávislé a objektivní srovnání a posouzení obou představených metod, a to na základě reálných dat a skutečností získaných především z praxe. Neboť až praxe samotná ukáže a prověří skutečné možnosti těchto metod, odhalí přednosti a ukáže nedostatky. Při celkovém porovnání autor vycházel z několika oblastí, které budou dále dopodrobna rozebrány. Jedná se především o:

- prováděcí časy a denní postupy
- počet členů osádky
- použitou mechanizaci
- maximální délky realizovaných úseků
- rozsah IG. poměrů
- vliv technologií na okolí
- rizika spojená a prováděním

8.1 Prováděcí časy a denní postupy

V rámci tohoto srovnání autor vycházel z prováděcích časů výše představených projektů. Pro ověření relevance zjištěných informací byly tyto časy spolu s denními postupy porovnány také s jinými realizacemi podobného ražení.

Největší rozdíly prováděcích časů nastávají hned na počátku v rámci přípravné fáze. Nebereme-li v úvahu hloubení startovacích šachet, tak pro samotné mikrotunelování zaberou přípravné operace nejméně čtyři dny. Nejvíce časově náročná je příprava resp. betonáž opěrných betonových stěn, která včetně bednění zabere celé 2 dny. Třetí den je věnován odstranění bednění spolu se stěhováním separačních van, velínu atd. Dalšího půl dne je poté zapotřebí k ustavení samotného stroje. V porovnání s tímto jsou přípravné práce pro šnekové vrtání výrazně méně časově náročné. K ustavení stroje a vytýčení potřebné trasy potřebuje osádka zhruba půl dne, což vyplývá ze samotné podstaty resp. technologie šnekového vrtání.

Nyní se zaměříme na samotné denní postupy vrtání. U mikrotunelování dosahujeme běžně 5-6 m za osmihodinovou pracovní směnu. Pohybujeme-li se ve výrazně dobré geologii, jsme schopni dosáhnout až 12 m. Oproti tomu ve špatné geologii klesají denní postupy místy

až na polovinu oproti běžným délkám, hovoříme tedy o nějakých 3-4 metrech. V případě šnekového vrtání se denní postupy nedají vyjádřit tak jednoznačně, jako je tomu u mikrotunelování. Je zapotřebí zohlednit časovou náročnost jednotlivých kroků, které vedou k hotovému dílu. Denní postupy lze odvodit na příkladu nejdelšího protlaku, který byl realizován v rámci výše popsaného projektu v Havířově, kde osádka zvládla zhotovit 51 m dlouhý protlak v horizontu 5 dní. Nutno podotknout, že pracovní doba zde činila v průměru 10 hodin denně s tím, že bylo protlačováno potrubí DN250. Odečteme-li od celkové doby realizace čas nutný na přípravu a tuto dobu posléze podělíme celkovou délkou protlaku, vychází nám denní postup v rozmezí od 10 do 12 m v závislosti na zastižené geologii. Správnost výpočtu lze doložit na příkladech 20 m protlaků, které realizující firma zhotovila vždy v řádu 3 dnů.

Na závěr je třeba zdůraznit fakt, že pro mikrotunelování nehraje příliš velkou roli průřez realizovaného díla. Denní postupy se v tomto ohledu příliš neliší. Opačný stav však panuje v případě říditelného šnekového vrtání. Zde naopak výsledný průřez do jisté míry ovlivňuje celkovou dobu realizace, a to zejména díky nutnosti častějšího vyprazdňování těžební nádoby a s tím spojených časových prostojů během samotného vrtání. Proto je potřeba vzít na vědomí, že představené časy v rámci šnekového vrtání platí pouze pro realizovaný DN250. V případě odlišných světlostí realizační časy adekvátně rostou. Rostou však pouze prováděcí časy jedné z fází realizace, konkrétně pak druhé fáze, při které se rozšiřuje pilotní vrt zatlačováním ocelových chrániček se současným šnekovým odtěžením zeminy. Časy ostatních fází jako je realizace pilotního vrtu nebo zatlačování definitivního potrubí zůstávají beze změny.

Ztrátové časy

Při ustavování stroje pro šnekové vrtání mohou vznikat časové prostoje hned v počátku, a to při spouštění stroje do startovací šachty. Nejčastěji se pro startovací šachty v rámci šnekového vrtání používají ŽB skruže. Jelikož však rozdíl rozměrů mezi touto skruží a samotným strojem není příliš velký, je při provádění startovacích šachet vyžadována co možná nejdokonalejší svislost jejich stěn. Ne vždy se tomu tak daří, z čehož následně plynou problémy se spuštěním stroje do takto nedbale připravené šachty.

Samostatnou kapitolu v rámci obou metod tvoří nečekané poruchy popř. havárie, které nejsem schopni předem predikovat a vyčíslit tak čas potřebný k jejich zdolávání. Pro ilustraci můžeme pouze uvést časovou náročnost spojenou s problémy, které se vyskytly v rámci realizace výše popsaných projektů. Problém spojený s uvolněnou korunkou mikrotunelovacího stroje, která v konečném důsledku znamenala přesušení prací, si v celkovém součtu vyžádal celkem 14 denní prostoj. V tomto čase je zahrnut jednak výkop spolu s vyproštěním stroje, tak také jeho samotná oprava. Problémy v rámci šnekového vrtání v Havířově sice nebyly tak závažného charakteru jako ty během mikrotunelování v Praze, ale pro změnu se vyskytly vícekrát. Řeč je o praskajících skružích, jež byly nedostatečně obetonovány a při protlačení potrubí pod nápořem síly stroje praskaly. Každá z těchto poruch si vyžádala minimálně jednodenní přerušení prací.

8.2 Počet členů osádky

Osádku celého mikrotunelovacího mechanismu tvoří vždy minimálně pět členů. Ve startovací jámě se nacházejí dva pracovníci, kteří mají na starosti výměnu trouby, resp. její správné osazení s tím, že jejich další činností je rovněž dohled nad situací během samotného protlačení. Osádka na povrchu sestává z jeřábníka a vazače, který rovněž vykonává ostatní pomocné práce. Veškerá obsluha týkající se provozu stroje, probíhá za pomoci operátora v řídicím kontejneru, který je pátým a zároveň klíčovým členem celé osádky.

V souvislosti se šnekovým vrtáním můžeme hovořit o celkově čtyřech pracovnících, kteří jsou nezbytní pro správný a plynulý chod všech operací. Rozdělení pracovníků na jednotlivých pozicích se v průběhu šnekového vrtání odvíjí od aktuálně prováděné činnosti. Během realizace pilotního vrtu pracují ve startovací šachtě vždy dva pracovníci, jejichž úkolem je prodlužování pilotního soutyčí během procesu zatlačení. Současně s tím je potřeba zmínit, že tito pracovníci provádějí rovněž všechny úkony spojené s řízením a obsluhou stroje, a to přímo ze samotné startovací šachty. Zbylí dva členové osádky se při realizaci pilotního vrtu pohybují na povrchu a mají za úkol zásobovat materiálem osádku ve startovací jámě. V rámci druhé fáze se ve startovací šachtě stále pohybují dva členové osádky, zatímco na povrchu zůstává pouze obsluha hydraulické ruky popř. jeřábu. Čtvrtý člen demontuje soutyčí pilotního vrtu v cílové šachtě. Během závěrečné fáze protlačování definitivního

potrubí se v každé z šachet nachází po jednu pracovníkovi, zatímco zbylí dva obsluhují jeřáby resp. hydraulické ruky na povrchu.

8.3 Použitá mechanizace

Jestliže jsme při srovnávání počtu pracovníků v rámci jednotlivých technologií hovořili o rozdílu pouze jediného člena v neprospěch mikrotunelování, tak v případě porovnání mechanizace panuje značně odlišná situace. Zde se naplno projevuje technická složitost celého mikrotunelovacího stroje se všemi svými důsledky. Při výčtu jednotlivých položek nutných k sestavení fungujícího stroje zaujme převaha bodů v rámci mechanizace mikrotunelování, hovořící v tomto ohledu v jeho neprospěch.

Mechanizace pro mikrotunelování

- plně mechanizovaný razící štít
- tlačná stanice
- hydraulický agregát
- řídicí kontejner
- separační zařízení
- jeřáb

Mechanizace šnekového vrtání

- tlačná stanice
- hydraulický agregát
- jeřáb

Z přiloženého výčtu jasně vyplývá, že metoda mikrotunelování je mnohem náročnější, co se celkové mechanizace týče. Z tohoto titulu plyne jistá prostorová náročnost spojená s nutným záborem pozemků, který v konečném důsledku může generovat vyšší finanční náklady, oproti šnekovému vrtání. Větší množství mechanizace rovněž znamená vyšší riziko vzniku potencionálních problémů či závad.

Vzhledem k mechanizaci, používané v rámci šnekového vrtání lze hovořit o značné kompaktnosti celého systému. Kompletní technologii lze doslova naložit na jeden nákladní

automobil a v poměrně krátkém čase přemístit na námi požadované místo. V souvislosti s tím je potřeba zmínit také výbornou skladnost celého zařízení.

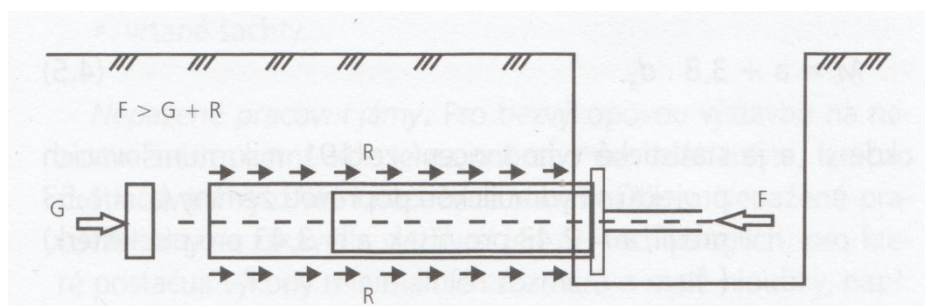
Porovnáme-li ve výčtu mechanizace shodné položky typu tlačné stanice popř. jeřábu, můžeme dojít k poměrně zajímavým závěrům. Šnekové vrtání si pro účely vertikální dopravy vystačí v převážné většině případů s hydraulickou rukou, která je součástí nákladního automobilu. Toto řešení se však v rámci mikrotunelování příliš nepoužívá. Zde se v převážné míře spoléhá na mobilní autojeřáby popř. jiná volně stojící zdvihací zařízení. Zajímavější situace panuje v posledních letech v oblasti tlačných stanic. Ještě v nedávné době platilo, že soupravy pro šnekové vrtání nebyly schopny vyvinout takový tlak, jako tlačné stanice pro mikrotunelování, o krouticích momentech ani nemluvě. Tato situace se ale v posledních letech začíná postupně měnit, a to zejména s příchodem nových strojů pro šnekové vrtání typu Bohrtec apod. Souhrnně můžeme o těchto strojích mluvit jako o strojích tzv. druhé generace, jež jsou silnější, výkonnější a využívají jistá inovativní řešení typu duálních tyčí apod. Ne zřídka již tyto stroje překračují 200 tun tlačné síly, což jsou parametry, se kterými pracuje nejedna tlačná stanice v rámci mikrotunelování menších profilů.

8.4 Maximální délky realizovaných úseků

Z mnoha různých zdrojů, ať už se jedná o reklamní materiály firem, jejich webové stránky apod. se můžeme dočíst o tom, že mikrotunelovací soupravy jsou schopny realizovat úseky dlouhé až 150 m. To je sice pravda pro potrubí DN600 a více, v žádném případě to však neplatí pro profily do 400 mm. Pro tyto světlosti se považuje za optimální vzdálenost do 80 m. Ve výjimečných případech spojených s extrémně příznivou geologií je možné realizovat úseky až 100 m dlouhé. Informace týkající se 150 metrů zcela jistě vyplývají z konkurenčního boje ať už mezi jednotlivými výrobci, tak především mezi lidmi, kteří nabízející a propagují bezvýkopové technologie, speciálně tedy mikrotunelování. Vždy je snahou získat jakousi potencionální výhodu oproti jiným možným řešením resp. technologiím v rámci vyjednávání s investory apod. To, že se jedná o zavádějící informace zejména u malých profilů DN250 a DN300, můžeme dokladovat na jednoduchém výpočtu minimální protlačovací síly spolu s posouzením protlačovacích trub.

Výslednou protlačovací sílu nejvíce ovlivňují vlastnosti zeminy, konstrukce štítu a druh protlačovaného potrubí. K těmto nejvýznamnějším faktorům můžeme dále přičíst rychlost protlačování, klimatické podmínky nebo výskyt možných překážek v trase. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že přesné určení protlačovací síly je značně komplikované, ne-li zcela nemožné. Avšak orientační výpočty jsou pro praxi dostačující, a jsou proto použity i pro potřeby této diplomové práce. [2]

Odporová síla, kterou je nutné během protlačení překonat se skládá ze dvou základních složek. Tou první je síla G působící proti vnikání rezného štítu do zeminy, druhou pak odpor od plášťového tření R . Výsledná tlačná síla potom musí být větší než součet těchto odporových sil G a R . [2]



Obr. 24 Schéma sil působících při protláčení. [2]

Při výpočtu odporové síly G můžeme využít několika přístupů k výpočtu. V rámci této práce byl použit vztah (1), dle ISTT Pracovní skupiny 3. Do tohoto vztahu vstupuje vnější průměr štítu d_a a odporový tlak působící na štít p_0 . [2]

$$G = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_a^2 \cdot p_0 \quad (1)$$

Orientační stanovení velikosti síly od plášťového tření vychází ze vztahu (2). Do výpočtu zde vstupuje M jakožto plášťové tření v kPa, l_{op} jako obvod pláště trouby v metrech a L v podobě celkové délky protlaku. [2]

$$R = M \cdot l_{op} \cdot L \quad (2)$$

Pro výpočet plášťového tření M existuje opět několik výpočetních přístupů. Představený vztah (3) vychází rovněž z ISTT Pracovní skupiny 3. V tomto vztahu představuje d_a vnější

průměr protlačovací trouby v metrech, zatímco a je bezrozměrná hodnota, která vychází ze statistického vyhodnocení 191 mikrotunelovacích projektů, při nichž bylo využito hydraulického odtěžení zeminy. [2]

$$M = a + 3,8 \cdot d_a \quad (3)$$

V rámci výpočtu byly zpracovány celkové velikosti odporu prostředí při realizaci 150 m potrubí rozměrů DN250, DN300 a DN400. Pro ilustraci byla uvažována geologie hlín, písků a štěrkopísků, tedy jedny z prostředí, které v rámci realizace vyvozují nejmenší odporové síly G a třecí síly R . V tab. 7 jsou představeny koeficienty, se kterými bylo ve výpočtech uvažováno.

	Hlíny	Písky	Štěrkopísky
p_0 [kPa]	330	600	850
a [-]	1,60	2,43	3,34

Tab. 7 Vstupní koeficienty pro výpočet celkového odporu prostředí [2]

V následující tabulce jsou shrnuty dosažené výsledky celkového odporu prostředí v závislosti na zvolené geologii a světlosti uvažovaného potrubí. Současně tyto hodnoty představují minimální sílu potřebnou k protlačení 150 m potrubí.

Geologie	Celkový odpor prostředí [kN] při použití potrubí CreaDig			Geologie	Celkový odpor prostředí [kN] při použití potrubí Hobas		
	DN250	DN300	DN400		DN268	DN312	DN405
Hlíny	540	649	892	Hlíny	469	585	904
Písky	710	847	1058	Písky	625	771	1163
Štěrkopísky	892	1330	1627	Štěrkopísky	792	969	1436

Tab. 8 Celkový odpor prostředí v kN při realizaci 150 m potrubí

Pro účely následujícího porovnání byly vybrány kameninové trouby CreaDig od společnosti Keramo Steinzeug a sklolaminátové trouby od společnosti Hobas. V obou případech je jedná o velmi často používané trubní vedení, přizpůsobené přímo bezvýkopové pokládce. Výrobce udávané maximální dovolené hodnoty tlačných sil na potrubí byly dále redukovány koeficientem 1,2, a to z důvodů, které již byly v rámci této práce výše rozebrány. Stručný přehled únosností jednotlivých potrubí je obsažen v Tab. 9.

CreaDig	Dovolená tlačná síla [kN]	Redukovaná tlačná síla [kN]	Hobas	Dovolená tlačná síla [kN]	Redukovaná tlačná síla [kN]
DN250	810	648	DE 324 (268)	452	362
DN300	1000	800	DE 376 (312)	638	510
DN400	2200	1760	DE 501 (405)	1412	1130

Tab. 9 Únosnosti kameninového a sklolaminátového potrubí [18] [19]

Při porovnání únosnosti jednotlivých potrubí s vypočtenými nutnými protlačecími silami, se potvrzuje to, co bylo predikováno na začátku této podkapitoly. Tyto trouby v žádném případě nemohou odolat tlačné síle, která by musela být vyvozena pro realizaci 150 metrového úseku. Pro snazší orientaci je zde ještě ke každému z uvažovaných potrubí přiložena tabulka, ve které jsou červenou barvou vyznačeny ty hodnoty, které již překračují redukovanou tlačnou únosnost daného potrubí.

Geologie	Kameninové potrubí CreaDig			Geologie	Sklolaminátové potrubí Hobas		
	DN250	DN300	DN400		DN268	DN312	DN405
Hlíny	540	649	892	Hlíny	469	585	904
Písky	710	847	1058	Písky	625	771	1163
Štěrkopísky	892	1330	1627	Štěrkopísky	792	969	1436

Tab. 10 Porovnání nutné protlačecí síly pro realizaci 150 m úseku s únosností potrubí

Nutno podotknout, že pro samotný výpočet byly vybrány pouze základní typy geologie. Nebylo zde vůbec uvažováno s mnohem náročnějším prostředím typu poloskalních hornin apod. V takovém případě by se dal očekávat výrazný nárůst odporu celého prostředí.

Podíváme-li se na výkonnost dnešních moderních souprav pro šnekové vrtání, tak zde máme v porovnání s mikrotunelováním velice silného konkurenta. Za pomoci šnekového vrtání se dnes běžně realizují úseky dlouhé až 100 m, a to zejména díky vysokým tlačným silám a krouticím momentům, kterými tyto soupravy disponují. Výpočtem bylo potvrzeno, že ani tlaková únosnost potrubí nás v tomhle ohledu příliš neomezuje. Toto tvrzení vyplývá ze samé podstaty technologie šnekového vrtání, kdy v závěrečné fázi protlačování potrubí odpadá odporová síla G na čele vrtu.

8.5 Rozsah IG poměrů

V rozsahu inženýrko-geologických poměrů vhodných pro danou technologii panují značné rozdíly. Pro začátek je dobré říci, že jsou obě technologie schopny pracovat také pod hladinou podzemní vody. V případě mikrotunelování se jedná o zcela běžnou záležitost, zatímco u šnekového vrtání je třeba brát tuto informaci na pováženou. Také se šnekovým vrtáním se sice dají realizovat protlaky pod HPV, avšak pouze se speciálními „vodními“ šneky, za cenu výrazně vyšších nákladů. Koneckonců tyto speciální šneky nejsou ani ve standardním vybavení většiny firem, neboť se nejedná o zcela běžně realizovanou záležitost. V souvislosti se šnekovým vrtáním se nejčastěji uvádí jako vhodný rozsah geologie od měkkých zemin, přes kamenité půdy až po měkké anebo rozpadavé horniny. Největším omezením je v tomto ohledu maximální kusovitost těženého materiálu, což souvisí především se šnekovým systémem odtěžení. Maximální kusovitost je dána volným prostorem mezi pažnicí, šneky a středovou hřídelí. Toto omezení plyne z toho důvodu, že nesmí docházet k zasekávání volných kusů horniny během transportu skrz pažnice. Jako maximální kusovitost se obvykle uvádí jedna čtvrtina průřezu ocelové výpažnice. [8]

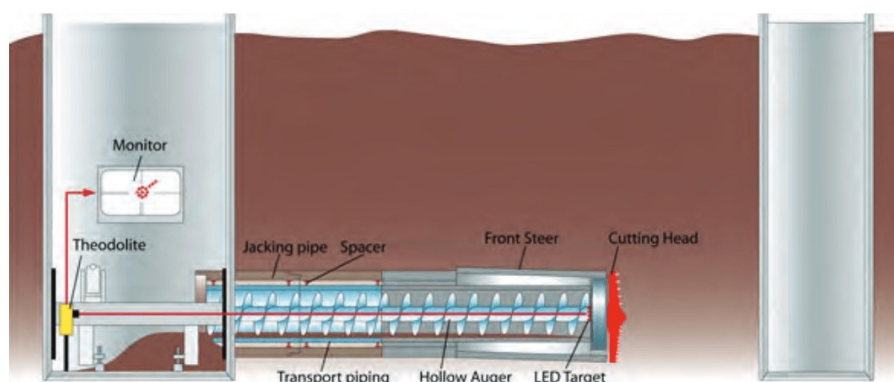
Pro mikrotunelování takové omezení neplatí. Mikrotunelovací stoj je možné nasadit v geologii od zemin přes poloskalní horniny až po horniny skalní. Takovouto vysokou variabilitu umožňuje jednak hydraulický systém odtěžení, tak především individuální konfigurace čela vrtné hlavy, která může být přizpůsobena vždy dle individuálních potřeb daného projektu. V souvislosti s geologií v zájmovém území můžeme vybírat ze zeminové, poloskalní, nebo čistě skalní vrtné hlavy. Volba té či oné konfigurace je přitom zcela zásadní pro budoucí úspěch, či neúspěch celého projektu. Zejména v České republice, která je typická rychle se měnící geologií, se velmi často potýkáme s problémy, kdy se v projektované trase budoucího díla nachází jak čistě zeminové, tak také poloskalní nebo dokonce skalní podloží. Výhodou pro nás je, když tuto informaci známe předem a můžeme tak s ní patřičně naložit. Nezřídka se však stává, že se na skalní či poloskalní podklad narazí také v případech, ve kterých se to předem nepředpokládalo. Jistou ochranu nám v tomto zaručuje použití speciální mikrotunelovací hlavy TCC R, která je určena do poloskalního prostředí. Tato vrtná hlava kombinuje výhody zeminové hlavy TCC s excentrickým drtičem, současně je však schopna překonávat kompaktní skálu nižší až střední pevnosti do hodnoty 50 Mpa. [20]

Jedním z výraznějších problémů, které v rámci geologie popisuje odborná literatura, jsou zeminy s příliš vysokým koeficientem nakypření. V těchto zeminách se může mikrotunelovací štít svou vlastní vahou propadat, což má za následek nedodržení požadovaného sklonu příp. směru. Tento problém se však odehrává spíše v teoretické rovině. V reálném životě se nevyskytuje, neboť je možné přijmout opatření týkající se nastavení samotného stroje nebo v extrémních případech až injektáže podloží. Další problémy týkající se obtížných IG poměrů budou představeny v podkapitole Rizika spojená s prováděním.

Vraťme se ještě na chvíli ke šnekovému vrtání. Jak již bylo výše uvedeno, technologie šnekového vrtání je schopna pracovat maximálně v geologii měkkých hornin, s čímž je úzce spjata především realizace pilotního vrtu, pro kterou vždy potřebujeme roztlačitelné prostředí, jak již ze samé podstaty technologie vyplývá. Autor této práce však z rešerší zahraničních projektů narazil na poměrně zajímavou realizaci, která se týká šnekového vrtání v neroztlačitelných středně tvrdých vápencích. Tento projekt je natolik zajímavý, že určitě stojí za zmínku.

Ve zkratce se jednalo o projekt výstavby nového kanalizačního sběrače v délce 800 m, budovaného v Itálii v roce 2015. Práce byly realizovány ve středně tvrdé hornině zvané jako leccský vápenec. Průměrná délka jednotlivých úseků činila 80 m s tím, že byly protlačovány trouby Hobas ID 800 mm. Daleko zajímavější, než samotné okolnosti je však technologie, se kterou byla daná zakázka zrealizována. S velkým úspěchem zde byla odzkoušena jednostupňová metoda šnekového vrtání, tzv. systém čelního šnekového vrtání na plný profil. [7]

Charakteristikou jednofázového postupu výstavby (Obr. 25) je instalace trubního vedení bezprostředně za plnoprofilovou vrtnou hlavou. Jedná se o sofistikovanou metodu šnekového vrtání s optickým naváděním. Teodolit s digitální kamerou umístěný ve startovací jámě vysílá laserem paprsek na LED terč ve vrtné hlavě. Tento paprsek prochází skrz duté šnekové vynašeče. Trouby produktovodu jsou protlačeny ihned za plnoprofilovou vrtnou hlavou, přičemž odtěžení je zajištěno systémem chrániček s dutými šneky, jež jsou umístěny centrálně v protlačovaném produktovodu. [7]



Obr. 25 Schéma jednofázového šnekového vrtání [7]

Výhodou prezentovaného systému je rychlá příprava, jednoduchý provoz a bezesporu také jednodušší a kratší zacvičení osádky v porovnání s mikrotunelováním. Jednou z hlavních nevýhod je fakt, že v případě, kdy vrtná hlava narazí na nezdolatelnou překážku, neexistuje možnost zpětného vytažení potrubí spolu s vrtnou hlavou do prostoru startovací jámy. Oproti vícefázovému šnekovému vrtání se v tomto případě používají silnější vrtné stroje s vysokým krouticím momentem, které jsou však do značné míry limitovány maximální přípustnou tlačnou silou, jež se odvíjí od únosnosti trubního materiálu resp. spojů. [2], [7]

Projekt plného čelního šnekového vrtání v Itálii jasně dokumentuje možnosti této technologie v neroztlačitelných horninách, ve kterých nejsme schopni zrealizovat pilotní vrt. V minulosti bylo v těchto podmínkách možné pracovat pouze metodou mikrotunelování, která je ovšem v porovnání s představenou technologií výrazně složitější a zároveň nákladnější. [7]

8.6 Vlivy technologií na okolí

Jak již bylo v úvodu této práce zmíněno, obecně bezvýkopové technologie nepředstavují pro okolí žádné výraznější nebezpečí typu poklesových kotlin apod., což samozřejmě platí také pro obě porovnávané technologie. V teoretické zóně ovlivnění prakticky nejsme schopni tyto projevy reálně změřit, neboť se povětšinou pohybují do velikosti 1 mm. Tento fakt ovšem platí pouze v případě, dodržují-li se během realizace všechny zásady a pravidla, spojená s touto či onou metodou. Z nedodržení těchto zásad vyplývají rizika, jež jsou popsána v další podkapitole. V souvislosti s vlivy na okolí je dobré připomenout, že mikrotunelování je zcela nezastupitelné v blízkosti ohrožených objektů na povrchu, a to zejména pohybujeme-li se v nestabilních zeminách.

Šnekové vrtání díky své kompaktnosti ovlivňuje v průběhu realizace život v okolí startovací šachty výrazně méně, než je tomu u metody mikrotunelování. To se jeví jako výhoda zejména v centrech měst, kde sebemenší zábor at' už chodníků popř. dopravních komunikací způsobuje velké problémy a nemalé finanční náklady. Ačkoli mikrotunelování na povrchu zabírá více místa, stále je to mnohonásobně méně, než by tomu bylo v případě otevřeného výkopu.

V souvislosti s mikrotunelováním je potřeba zmínit ještě jednu okolnost a tou je potencionální zatížení životního prostředí. Týká se to především systémů s hydraulickým odtěžením, kde se rubanina míchá s výplachem, který může obsahovat bentonit popř. polymery. Zejména v případě jemnozrnných zemin je separace takto vzniklé suspenze složitá, a proto tento materiál neztídká končí na skládkách, neboť jeho další využití je složité ne-li zcela nemožné. Další možné vlivy na okolí plynou z rizik provádění, jimž bude věnována pozornost v následující podkapitole.

8.7 Rizika spojená s prováděním bezvýkopových prací

O rizicích, která jsou spojena se složitými inženýrsko-geologickými podmínkami v rámci bezvýkopových technologií, by se daly napsat snad celé práce. Obzvlášť v České republice, která je známá svou různorodou geologickou skladbou, nabývá toto tvrzení na významu. Pro mikrotuneling jakožto i pro šnekové vrtání je velmi důležitý geologický průzkum. Otázkou však zůstává, jak relevantní a potřebné informace z toho průzkumu budoucí zhotovitel získá. Zcela jistě se bude jednat o data týkající se stáří vrstev, jejich začlenění do regionu, údajů o měrné hmotnosti, mineralogickém a petrografickém složení apod. Tyto záležitosti jsou vskutku zajímavé, avšak pro potřeby mikrotunelování potažmo šnekového vrtání ne tak úplně zásadní. Mnohem důležitější jsou údaje týkající se základního geologického popisu vrstev, křivek zrnitosti či možného výskytu balvanů a valounů v projektované trase. Jednou z nejdůležitějších informací vůbec jsou u hornin jejich pevnosti v tlaku a posléze to, zda se popsané podmínky budou v trase díla měnit či nikoliv. Je otázkou, do jaké míry je možné tyto skutečnosti objektivně zhodnotit, provádí-li se průzkum pouze za pomoci několika mála rozmístěných vrtů. Samostatnou kapitolu pak představuje průzkum, odkazující se pouze na archivní materiály a záznamy. [21]

Proměnlivé prostředí představuje pro mikrotuneling jedno z nejvýraznějších rizik, kterému bychom měli věnovat co možná nevyšší pozornost. Nejproblematictější bývají v zásadě ty situace, kdy se v trase vyskytuje zeminové prostředí současně se skalním podložím. Narazí-li štít na toto rozhraní, bude mít vždy tendenci uhýbat směrem do zeminy. V tom případě je prakticky nemožné udržet požadovanou niveletu, neboť stroj prochází cestou nejmenšího odporu, a to bez ohledu na to, jakou vrtnou hlavou je v danou chvíli osazen. [21]

Naprosto specifická situace nastává ve chvíli, jsme-li mikrotunelingem od začátku nuceni razit v prostředí dvou horizontálně ložených vrstev, kdy horní polovinu čelby zaujímá např. štěrka a druhou polovinu pak tvrdá skalní popř. poloskalní hornina. V takové situaci visí ve vzduchu riziko toho, že místo aby byl odtěžován materiál z prostoru před řeznou hlavou, bude docházet k přibírání štěrky z prostoru nad strojem, čímž se vytvoří nežádoucí kaverna. Jako jedno z možných řešení se uvádí použití bentonitového výplachu spolu se speciálně upravenou vrtnou hlavou. [10]

Uvědomíme-li si u mikrotunelingu rizika, která jsou spojená s nesprávným výběrem vrtné hlavy, stojí za zmínku také volba systému separace. Nesprávným rozhodnutím se totiž můžeme velice lehce dostat do potíží, které souvisí se zpomalením celé ražby, ne-li jejím kompletním zastavením. Vybírat v tomto ohledu můžeme ze tří systémů, které se od sebe liší jednak provedením, tak především cenou. Nejjednodušší jednostupňový systém pracuje na základě systému vibračních sít. Dvoustupňová separace je navíc doplněna o systém hydrocyklón, zatímco trojstupňový systém pracuje kromě předešlého navíc také s centrifugou. Jakkoli se zprvu může zdát investice do nejsofistikovanějšího systému příliš nákladnou, v konečném důsledku nám v jistých případech může ušetřit nemalé finanční prostředky spolu se zajištěním plynulosti celého procesu odtěžení resp. separace. Tento problém je nejpalčivější především v prostředí proměnlivých jílu.

Profil DN250 je vůbec nejmenší, jaký jsme schopni technologií mikrotunelování zrealizovat. Při takto malých profilech, hrají významnou roli i sebemenší vlivy, jako jsou například kořeny stromů, již výše zmíněné bludné balvany či nepravidelné změny podloží. To zcela jistě platí také pro šnekové vrtání. Jestliže se hovoří o tom, že mikrotunelovací stroj určený do zeminového prostředí zvládne i nějaký ten občasný bludný balvan, tak pro šnekové

vrtání toto neplatí. Zde naopak stojí systém šnekového vrtání v jasné nevýhodě, neboť narazíme-li během realizace byť na jediný valoun, či bludný balvan velikosti větší než $\frac{1}{4}$ rozměru ocelové výpažnice, jsme v problémech. [22]

V rámci řízení rizik, má mikrotuneling oproti šnekovému vrtání ještě jednu nezanedbatelnou výhodu. Díky sofistikovanosti celého mikrotunelovacího systému jsme schopni měřit množství výplachu, které přivádíme na čelbu současně s výplachem, který se nám vrací zpět. Za pomoci těchto informací je možné zamezit situaci, kdy nám zpátky bude proudit menší množství, díky čemuž se může na čelbě vytvořit nežádoucí kaverna. S kavernami souvisí také následující řádky. Pro technologii šnekového vrtání vyplývají rizika zejména z prostředí sypkých jemnozrnných zemin. V případě jsou-li tyto materiály navíc zvodnělé, hrozí výrazné nebezpečí. Z principu technologie totiž nejsme schopni ovlivnit to, zda se nám do šnekového vynašeče nedostane více materiálu než bychom pro realizaci samotného protlaku potřebovali.

Lidský faktor hraje u obou technologií velice důležitou roli. Zkušenost osádky výrazně ovlivňuje celkovou kvalitu provedených prací. V souvislosti s problémy, které můžeme lidskému faktoru přičíst, je zejména u šnekového vrtání možné použití menšího rozměru definitivního potrubí, než jsou rozměry samotné ocelové výpažnice. Může se to zdát jako banalita, ale v situaci, kdy by tento potencionální rozdíl činil 5, až 10 cm se jedná o zcela závažné riziko. V tom případě ztrácí na významu tvrzení o minimálním, ne-li zcela žádném ovlivnění nadloží. Je otázkou, na kolik by se jednalo o selhání samotné osádky nebo spíše vyššího managementu firmy. Do budoucna by bylo určitě zajímavé se tomuto problému více věnovat. Využít bychom k tomu mohli např. matematického modelování v softwaru Plaxis 3D s jehož pomocí bychom byli schopni určit velikost takto vzniklé poklesové kotliny na povrchu co do rozsahu, tak také hloubky. Ačkoli se rizikům spojených s lidským selháním nedá nikdy zcela vyhnout, je dobré jim alespoň preventivně předcházet.

Na závěr by bylo zajímavé vzpomenout také oblast ekonomiky. Je dobré si uvědomit, že v neprospěch mikrotunelingu hovoří fakt, že pod zemí máme to nejdražší z celé technologie. Navíc je MTBM vystaven mnohem větším rizikům, než jsou vystaveny drahé prvky šnekového vrtání, které se nachází v relativním bezpečí ve startovací jámě. Co se týče smluvních podmínek, tak v naší zemi v tomto ohledu zcela chybí jakákoliv byť elementární

ochrana zhotovitele. Celý dnešní systém je postaven výrazně v jeho neprospěch, kdy jediným soutěžním kritériem je výsledná cena spolu s tím, že veškeré vícenáklady nese pouze sám zhotovitel. To, že se jedná o problém, který zejména v oboru geotechniky představuje výrazné ekonomické riziko snad ani není třeba dodávat. Toto tvrzení nabývá na významu, připočteme-li si k tomu navíc v naší zemi často extrémní a rychle se měnící geologii. Při pohledu na smluvní podmínky v okolních státech, je třeba konstatovat, že se má české právní prostředí ještě ledasco učit. [23]

9 Závěr

Předložená diplomová práce si kladla za cíl porovnat na základě reálných dat a skutečností metodu mikrotunelování s metodou říditelného šnekového vrtání. Za pomoci dvou již zrealizovaných projektů byly porovnány klíčové oblasti týkající se realizace obou těchto metod. Rovněž byly vyvráceny některé mýty či omyly, se kterými se v tomto oboru můžeme stále setkat. Práce se také snažila poukázat na neduhy, týkající se například smluvních podmínek ve stavebnictví nebo provádění inženýrsko-geologického průzkumu.

Nyní krátce k závěrům, které z práce plynou. Pro délky protlaků do 20 až 25 metrů se jeví jako výhodnější metoda šnekového vrtání. V její prospěch hovoří nižší cena, rychlost mobilizace apod. Situace se však mění u protlaků s délkou okolo 50 m, kde bude při rozhodování především záležet na geologii daného místa. Tady už je na pováženou, jakou z metod zvolit. Šnekové vrtání by se mohlo jevit jako výhodnější pro prostředí jemnozrnných zemin, ve kterých v porovnání s hrubozrnnými zeminami pracuje výrazně lépe.

V případě úseků s délkami přes 70 m je výhoda již zcela na straně mikrotunelování. Musíme si totiž uvědomit, že u šnekového vrtání bude záležet zejména na přesnosti pilotního vrtu. Do toho si připočteme dnes obvyklé spády okolo 7 – 9 ‰ a rázem můžeme na takto dlouhém úseku realizovat pilotní vrt i na několik pokusů. Navíc stále hrozí riziko toho, že se stroj ve startovací jámě pohne, narazíme na skalní úsek apod. V neprospěch šnekového vrtání hraje také ekonomická stránka celé věci. Takto dlouhých projektů se v našich podmínkách nerealizuje tolik, aby se provádějícím firmám vyplatilo investovat prostředky do tolika vrtných tyčí resp. výpažnic, pro které by posléze nenašly uplatnění. Jak vyplývá ze samotného porovnání, obě představené metody mají jak své plusy, tak také mínusy. Můžeme stanovovat jakási obecná kritéria vhodnosti nasazení, avšak konečnou volbu technologie nelze stavět pouze na tomto. Každý projekt je jiný a každý potřebuje své individuální posouzení.

Možnosti v oblasti šnekového vrtání se v posledních letech posunuly výrazně kupředu. Vrtat malé profily na vzdálenosti až 150 m je možné, avšak prozatím tak děje pouze v rovině teorie. Stejně tak až budoucnost ukáže, zda se novinky typu jednostupňové metody v praxi osvědčí či nikoliv.

Do budoucna bude určitě zajímavé sledovat, kam až se vývoj, zejména v oblasti šnekového vrtání posune. Je otázkou, do jaké míry budou firmy ochotny popř. schopny do tohoto moderního vybavení investovat své finanční prostředky. Prozatím se však jedná o alternativu, kterou lze v porovnání s mikrotunelováním použít pouze v omezeném množství případů. Mikrotunelování bylo a stále zůstává na pomyslném vrcholu žebříčku mezi všemi bezvýkopovými technologiemi. Jedná se o nejsofistikovanější metodu, se kterou lze obsáhnout nejširší spektrum projektů.

Jak ze svého okolí často slýchávám. „*Geotechnika je krásná díky své nevyzpytatelnosti*“ a oblast bezvýkopových technologií toho nevyjímá. Hranice možného se stále posouvají a je zajímavé být u toho. Doufám, že má práce alespoň částečně přispěje k větší popularizaci tohoto krásného, byť někdy nervy drásajícího odvětví, kterým bezvýkopové technologie zcela bezpochyby jsou.

10 Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] JUST, Tomáš a Michal SODOMKA. Technologie tunelování pro infrastrukturu. *Tunel: Časopis české tunelářské asociace a slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES*. 2010, roč. 19, č. 4, s. 38-43. ISSN 1211-0728.
- [2] KLEPSATEL, František a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení*. Bratislava: Jaga, c2007. ISBN 978-80-8076-053-3.
- [3] FRANCZYK, Karel. *Vybrané problémy mikrotunelování: autoreferát dizertační práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1758-3.
- [4] RACLAVSKÝ, Jaroslav. *Slovník pojmů ve výstavbě: doporučený standard - metodická řada DOS M 01. 01. BVT: bezvýkopové technologie*. Praha: Informační centrum České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 2004. ISBN 80-86769-24-0.
- [5] ČSN EN 12889. *Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 24 stran
- [6] STEIN, Dietrich (ed.). *Practical guideline for the application of microtunnelling methods: for the ecological, cost-minimised installation of drains and sewers*. Bochum: Stein & Partner, 2005. ISBN 3-9810648-0-1.
- [7] NIEDER, Gregor. Řízené šnekové vrtání. *Nodig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2016, roč. 22, č. 2-3, s. 16-18. ISSN 1214-5033.
- [8] Talpa-rpf. Protlaky kameninových trub: Řízené šnekové vrtání pro pokládku kanalizačních trub – špičkové řešení pro úseky do 100 metrů [online]. Top Digital Group, ©1991-2015 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://www.talparpf.cz/protlaky-kameninovych-trub.html>
- [9] KRKOŠKA, Čestmír a Karel FRANCZYK. Výstavba kanalizace v Karvině pomocí bezvýkopových technologií. *Nodig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2014, roč. 20, č. 4, s. 18-20. ISSN 1214-5033.

- [10] ZÍTKO, Tomáš. Úslavský kanalizační svěrač v Plzni - 2. etapa. *Tunel: Časopis české tunelářské asociace a slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES*. 2015, roč. 24, č. 2, s 34 - 47. ISSN 1211 - 0728.
- [11] FRANCZYK, Karel. Mikrotunelování v proměnlivých geologických podmínkách. *Nodig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2014, roč. 20, č. 1, s. 15-20. ISSN 1214-5033.
- [12] KAPIAS, Martin. *ČSOV Vinoř Štěpánovská, SO-08 ČPHZ, D1.8.1: Technická zpráva*. ERMEX engineering spol. s.r.o. Praha, 2014
- [13] ČERMÁK, Robert. Iseki u firmy Čermák a Hrachovec - od flirtování k trvalému vztahu. *Nodig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2016, roč. 22, č. 1, s. 17-18. ISSN 1214-5033.
- [14] KIČMEROVÁ, Markéta. *Porovnání rizik klasické ražby sběrače v Ostravě Michálkovicích a mechanizované ražby kanalizačního sběrače*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství
- [15] MRÁZ, Rudolf. *Technologický postup - mikrotuneláž*. Čermák a Hrachovec a.s. Praha, 2015.
- [16] BEDNÁŘOVÁ, *Odkanalizování části města Havířova, Městská část Prostředí Suchá ul. Fryštátská a okolí: Technická zpráva*. Sweco Hydroprojekt a.s. Praha, 2014
- [17] BĚČÁK, Libor. Před semaforem se čeká kratší dobu. In: *Karvinsky.denik.cz* [online]. 9. 07. 2016[cit. 2016-11-13]. Dostupné z: http://karvinsky.denik.cz/zpravy_region/pred-semaforem-se-ceka-kratsi-dobu-20160731.html
- [18] KERAMO STEINZEUG, s.r.o. *Technické podklady 2009-05-01* [online]. [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: <http://pcvalfa.cz/getfile.aspx?file=5AFA2093-54EB-4DB8-B191-F1E9911D673B>

- [19] HOBAS CZ, spol. s.r.o. *Technical Product Data – Gravity Pipe Systems PN I* [online]. [cit. 2016-11-18]. Dostupné z:
http://hobas.cz/fileadmin/Daten/REFERENCES/H CZ/Documents/1605_HOBAS_Gravity_Pipe_Systems_web.pdf
- [20] KROTKI, Petr. Mikrotunelovací hlava TCC R. *NoDig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2015, roč. 21, č. 2, s.11, ISSN 1214-5033.
- [21] FRANCZYK, Karel. Mikrotunelování v proměnlivých geologických podmínkách. *Nodig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2014, roč. 20, č. 1, s. 15-18. ISSN 1214-5033.
- [22] FRANCZYK, Karel. Pozitivní příklady mikrotunelování. *Nodig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2015, roč. 21, č. 2, s. 13-15. ISSN 1214-5033.
- [23] FRANCZYK, Karel. Úvodník. *Nodig: Zpravodaj české společnosti pro bezvýkopové technologie*. 2015, roč. 21, č. 2, s. 2. ISSN 1214-5033.

11 Seznam obrázků

Obr. 1	Prvky měřicí a řídicí techniky trubního protlaku [6].....	23
Obr. 2	Detail řiditelné vrtné hlavy	25
Obr. 3	Detail vrtných tyčí.....	25
Obr. 4	Realizace pilotního vrtu [6].....	25
Obr. 5	Detail rozšiřovací hlavy vrtu	26
Obr. 6	Rozšiřování pilotního vrtu se současným zatlačováním potrubí [6].....	26
Obr. 7	Vrtné hlavy v závislosti na použitých vrtných tyčích	28
Obr. 8	Ocelové pažnice se šnekovým vynašečem.....	29
Obr. 9	Třetí fáze realizace protlaku	29
Obr. 10	Protlačování kameninových trub.....	30
Obr. 11	Rozšiřování tunelu spolu se zatlačováním definitivního potrubí [6]	31
Obr. 12	Schéma mikrotunelování.....	32
Obr. 13	Schéma mikrotunelovací soupravy s hydraulickým odtěžením zeminy [6]	34
Obr. 14	Rozdílné konfigurace vrtné hlavy [11].....	37
Obr. 15	Separčního odtěžení [9]	38
Obr. 16	Pohled na kontrolní panel v řídicí kabině.....	39
Obr. 17	Mladoboleslavská ulice, Praha – Vinoř.....	42
Obr. 18	Pohled do startovací šachty	45
Obr. 19	Mikrotunelovací stroj ISEKI Unclemole 400	47

Obr. 20	Ulice Fryštátská, Havířov – Prostřední Suchá	50
Obr. 21	Výkopek typický pro danou oblast.....	53
Obr. 22	Zařízení Bohrtec BM 400.....	54
Obr. 23	Prasklá betonová skruž – pozůstatek po předešlém protlaku.....	56
Obr. 24	Schéma sil působících při protlačení [2]	62
Obr. 25	Schéma jednofázového šnekového vrtání [7].....	67

12 Seznam tabulek

Tab. 1	Přehled neřízených metod bez obsluhy na čelbě [2]	20
Tab. 2	Maximální vertikální a horizontální odchylky [6]	22
Tab. 3	Rozpis šachet pro mikrotunelování [12]	46
Tab. 4	Jednotlivé délky ražených úseků [15]	47
Tab. 5	Přehled realizovaných stok [16]	51
Tab. 6	Výčet všech realizovaných úseků [16]	55
Tab. 7	Vstupní koeficienty pro výpočet celkového odporu prostředí [2]	63
Tab. 8	Celkový odpor prostředí v kN při realizaci 150 m potrubí	63
Tab. 9	Únosnost kameninového a sklolaminátového potrubí [18], [19]	64
Tab. 10	Porovnání nutní protlačecí síly v kN s únosností potrubí	64

13 Seznam rovnic

(1)	Výpočet odporové síly G [2]	62
(2)	Stanovení síly od plášťového tření R [2]	62
(3)	Výpočet plášťového tření M [2]	63

14 Seznam grafů

Graf 1	Rozdělení bezvýkopových metod dle ČSN EN 12 889/2001	19
---------------	--	----